

**INVERSIÓN, INDUSTRIALIZACIÓN Y CRECIMIENTO SUSTENTABLE:
UN MODELO SOLOW-SWAN ‘VERDE’ PARA BOLIVIA
UNA PROSPECTIVA HACIA EL 2025¹**

ROGER ALEJANDRO BANEGAS RIVERO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA RENÉ MORENO (UAGRM)

JORGE SALAS VARGAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA RENÉ MORENO (UAGRM)

AGOSTO DE 2015

- **RESUMEN:** El objetivo de este documento es analizar el impacto de las fuentes del crecimiento económico sobre la contaminación ambiental en mecanismo unidireccional y en canal de transmisión. Se utiliza el modelo *Solow-Swan* adaptado a la emisión de dióxido de carbono (CO_2), el cual es aplicado para Bolivia desde una perspectiva econométrica (MCO; MC2E; MMG) con información de 1970 al 2012. Los resultados sugieren que mientras el capital y el producto per cápita crecen en tasas similares (con acumulación de capital), la emisión de CO_2 crece en forma elástica a las fuentes del crecimiento económico (vía unidireccional y en canal de transmisión). De igual forma, se evalúan efectos de incrementos en la producción sectorial— sobre la emisión de contaminantes—destacándose el rol de la industrialización. En el mediano plazo (hacia el 2025), existe una disyuntiva entre crecimiento económico y contaminación ambiental con la necesidad de un crecimiento balanceado.
- **PALABRAS CLAVES:** Inversión-Ahorro, industrialización, crecimiento sustentable.
- **ABSTRACT:** The purpose of this paper is to analyze the impacts of economic growth determinants on environmental pollution by unidirectional and channel transmission mechanisms. The *Solow-Swan* model is adapted to the emission of carbon dioxide (CO_2) by an econometric approach (OLS; 2SLS, GMM) for the Bolivian case with data from 1970 to 2012. The results suggest that while growth of capital and per capita income have similar rates (with accumulation of capital), the emission of CO_2 grows elastically to changes of economic growth sources (unidirectional and channel transmission mechanism). Similarly, increases in sectoral production are evaluated and relative implications on pollutant emissions, highlighting the role of industrialization. For the medium term (by 2025), there is a trade-off between economic growth and environmental pollution with the need to achieve a balanced growth.

KEYWORDS: Investment-saving, industrialization, sustainable growth.

CLASIFICACIÓN JEL: O14, O16, 044, O47.

¹ Correos electrónicos: rogerbanegas@uagrm.edu.bo; aleconomista@gmail.com; jorgesalas@uagrm.edu.bo. Se agradece los valiosos comentarios de Andrés Blancas Neria (UNAM) y Reyna Vergara González(UAEMEx); desde luego, los errores y omisiones corresponden a los autores.

INTRODUCCIÓN

Estudios previos basados en la curva del medio ambiente de Kuznet (*EKC* por su acrónimo en inglés) plantean la hipótesis que el nivel de crecimiento económico (ingreso per cápita) afecta positivamente a la contaminación ambiental en primera instancia; sin embargo, después de alcanzar cierto nivel de ingreso per cápita, la relación se vuelve negativa sobre la contaminación ambiental (efecto curvilíneo en forma de U invertida) (Kuznets, 1955; Grossman & Krueger, 1995; Shafik & Bandyopadhyay, 1992; Mazur, Phutkaradze, & Jaba, 2015). Los fundamentos de la curva de Kuznet (*EKC*) se basan en el proceso de transición hacia la industrialización, con cambios tecnológicos y modificaciones en los patrones de consumo, que reducen la contaminación ambiental.

De forma adicional, otros estudios señalan que el punto de inflexión, que cambia la relación entre crecimiento económico y contaminación ambiental, se presenta en: a) niveles intermedios de ingresos per cápita (de 8.000 a 10.000 USD por año) (Grossman & Krueger, 1995; Selden & Song, 1994) y b) niveles altos de ingreso per cápita (rango entre 23.000 y 35.000 USD por año) (Mazur, Phutkaradze, & Jaba, 2015; Kahn, 1998).

A pesar de lo anterior, la curva de Kuznet ha sido ampliamente criticada porque: 1) es inexistente dado que se presenta en una función polinómica injustificada con resultados escépticos (Copeland & Taylor, 2004); 2) es sensible al tamaño de la muestra tanto en períodos de tiempo (Bo, 2011) como en países (Iwata, Okada, & Samreth, 2012)²; 3) es inaplicable para países en vías de desarrollo, en especial para ingresos bajos (Aslanidis & Irazob, 2009; Saboori & Sulaiman, 2013); 4) no incorpora una retroalimentación de la contaminación en las posibilidades de producción (Stern, Common, & Barbier, 1996); 5) no existe relación causal entre crecimiento económico y la contaminación ambiental mediante la especificación de curva de Kuznet (Soytas, Sari, & Ewing, 2007; Aslanidis & Irazob, 2009) .

De igual forma, se ha señalado que la curva de Kuznet no tiene vínculo alguno con la teoría económica, por lo que se ha planteado una relación alternativa entre crecimiento económico y contaminación ambiental mediante el modelo *Solow 'verde'* (Brock & Taylor, 2010; Cherniwchan, 2012). Esta relación teórica se basa en los fundamentos de Solow (1956) y Swan (1956), quienes señalaron que las fuentes del crecimiento económico se basan en el cambio tecnológico, la tasa de ahorro (inversión), la depreciación y la tasa de crecimiento poblacional.

² Se demuestra que la curva de Kuznet es aplicable para Finlandia, Corea, Japón y España.

En consecuencia, en este documento se retoman consideraciones teóricas de los determinantes *Solow-Swan*, del cual se deriva el sendero de crecimiento balanceado en términos de fuentes del crecimiento económico y se vincula a la contaminación ambiental como una connotación de sustentabilidad³ a partir de una función específica de producción Cobb-Douglas.

Frente a lo mencionado y al existir varias críticas sobre la curva de Kuznet, se plantean las siguientes preguntas de investigación: *¿cómo se presenta o cómo influyen las fuentes del crecimiento económico sobre la contaminación ambiental en mecanismo unidireccional y vía canal de transmisión?; ¿cuándo se puede presentar una convergencia o divergencia entre las fuentes del crecimiento económico y la contaminación ambiental?*

En otras palabras, se fundamenta cómo influyen las fuentes del crecimiento económico sobre la contaminación ambiental en dos mecanismos: a) efecto unidireccional (relación directa) y en b) canal de transmisión con el propósito de explicar la relación de convergencia-divergencia para el crecimiento sustentable.

A diferencia de estudios previos, en este documento se enfoca el modelo *Solow-Swan* 'verde' desde una perspectiva de crecimiento balanceado en lugar de estado estacionario con especificaciones alternativas como contribución aditiva. De igual forma, se incorporan efectos particulares sobre la contaminación ambiental a partir de la participación de los sectores productivos (entre ellos la industrialización).

En este trabajo se toma a Bolivia como ejemplo aplicado, al ser una economía en vías de desarrollo, con base a información de 1970 al 2012. De la estimación realizada se deriva un análisis prospectivo de mediano plazo para comprender los costos de oportunidades entre crecimiento económico y contaminación ambiental (hacia el 2025).⁴

Adicional al problema teórico entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental, existe una justificación práctica vinculada a lo que se está discutiendo entre

³ Se contempla el término de sustentabilidad dada la relación teórica entre economía y medio ambiente.

⁴ Se aborda el período estimado a partir de 1970 con base a la complicación de estadísticas, misma que se encuentra fragmentada; sin embargo, se realiza una unificación consistente (Jemio, 2008) a partir de información del Instituto Nacional de Estadísticas de Bolivia (INE), así como de la Unidad de Análisis de Políticas Económicas de Bolivia (UDAPE) y el Banco Mundial. De igual forma, se determinó una prospectiva a mediano plazo (hasta el 2025) con el fin de abordar las relaciones dinámicas entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental derivadas de las estimaciones econométricas utilizadas en este documento.

académicos, organizaciones gubernamentales y organismos multilaterales sobre el desarrollo sustentable desde mediados de los 80s; por lo cual, cada vez se va cobrando mayor relevancia desde el trabajo seminal del *Futuro Común* (Brundtland, y otros, 1987), así como los objetivos y retos para el desarrollo del milenio (UN Millennium Project, 2005), y diversos foros mundiales sobre crecimiento, medio-ambiente y desarrollo sustentable (Porto Alegre, 2001; Río+20, 2012).

Así, el documento está integrado por cuatro secciones: la primera aborda la fundamentación teórica desde un esquema contable de crecimiento económico, los factores determinantes en crecimiento balanceado y especificaciones alternativas para modelo *Solow-Swan* verde; la segunda sección comprende los datos y métodos utilizados; la tercera y cuarta sección presentan los resultados y su discusión respectivamente. Al final del documento, se exponen las principales conclusiones del trabajo.

I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

I.1. Un esquema contable de crecimiento económico

Las fuentes contables del crecimiento económico sugeridas por Solow (1956) parten de un ejercicio neoclásico, en el cual la función de producción de la economía depende de tres factores: la tecnología $[A(t)]$, el capital físico $[K(t)]$ y el trabajo $[L(t)]$:

$$Y(t) = A(t) * F[K(t), L(t)] \quad (1)$$

A la vez podría suponerse que el capital humano $[H(t)]$ consiste en potencializar el trabajo $[L(t)]$ por un índice multiplicador de la educación (Sala-i-Martin, 2000) $[q(t) = 1 + tasa_edu(t)]$:

$$H(t) = L(t) * q(t) \quad (2)$$

Si en (1), se sustituye $H(t)$ en lugar de $L(t)$, a la vez de aplicar logaritmo y dividir por el tiempo se obtiene:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{\Delta A}{A} + \left(\frac{AF_k}{Y}\right) \dot{K} + \left(\frac{AF_H}{Y}\right) \dot{H} \quad (3)$$

Si en (3) se multiplica y se divide por K y H dentro de cada paréntesis respectivo:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{\Delta A}{A} + \left(\frac{AF_k H}{Y}\right) \frac{\Delta \dot{K}}{K} + \left(\frac{AF_H H}{Y}\right) \frac{\Delta \dot{H}}{H} \quad (4)$$

En (4), se asume que el producto marginal del capital físico es igual al excedente bruto de explotación ($AF_kH = R$) y el producto marginal del capital humano es igual a la remuneración de los asalariados ($AF_HH = W$); en consecuencia, ambos términos medidos en términos del PIB (Y) corresponden a la retribución del capital físico y del capital humano sobre la renta nacional de forma respectiva.

De acuerdo a información de contabilidad nacional, es posible verificar que la participación del capital humano es igual a uno menos la participación del aporte del capital físico, en consecuencia:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{\Delta A}{A} + \alpha \frac{\Delta K}{K} + (1 - \alpha) \frac{\Delta H}{H} \quad (5)$$

Al considerar en (5) que el progreso tecnológico no es directamente observable, se puede obtener a partir del residuo de Solow, como la diferencia entre el crecimiento del producto real y el aumento ponderado de los factores productivos:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta Y}{Y} - \alpha \frac{\Delta K}{K} - (1 - \alpha) \frac{\Delta H}{H} \quad (6)$$

Partiendo del modelo de Solow, el análisis se realiza en términos de crecimiento per cápita; por tanto, el crecimiento del producto per cápita es la diferencia entre el crecimiento del producto real y el crecimiento del factor trabajo:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta Y}{Y} - \frac{\Delta L}{L} \quad (7)$$

Al considerar que la tasa de crecimiento del capital humano, se compone por dos tasas: la tasa de educación más la tasa de crecimiento laboral [$\gamma_H = \gamma_{edu} + \gamma_L$], de forma alternativa se puede obtener:

$$\frac{\Delta Y}{Y} - \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta A}{A} + \alpha \frac{\Delta K}{K} + (1 - \alpha) \frac{\Delta H}{H} - \frac{\Delta L}{L}$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta A}{A} + \alpha \frac{\Delta K}{K} + (1 - \alpha) \frac{\Delta H}{H} - \frac{\Delta L}{L}$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta A}{A} + \alpha \left(\frac{\Delta K}{K} - \frac{\Delta L}{L} \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{\Delta H}{H} - \frac{\Delta L}{L} \right)$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta A}{A} + \alpha \frac{\Delta k}{k} + (1 - \alpha) \frac{\Delta q}{q} \quad (8)$$

1.2. El estado estacionario de la economía

Solow (1956) y Swan (1956) plantearon que el equilibrio de la economía se basaba en términos de capital y producto per cápita. Para ello la trayectoria del capital está determinada por el nivel de ahorro en la economía y la tasa de depreciación:

$$\Delta K = sY - \delta K \quad (9)$$

Dividiendo (9) entre K :

$$\frac{\Delta K}{K} = s \frac{Y}{K} - \delta \quad (10)$$

Si se considera: (11) $\hat{y} = \frac{Y}{L}$ y (12) $\hat{\kappa} = \frac{K}{L}$

En (12), se aplica logaritmo y se diferencia respecto del tiempo:

$$\frac{\Delta \kappa}{\kappa} = \frac{\Delta K}{K} - \frac{\Delta L}{L} \quad (13)$$

Se reemplaza (10) en (13):

$$\frac{\Delta \kappa}{\kappa} = s \frac{Y}{K} - \delta - \frac{\Delta L}{L} \quad (14)$$

Redefiniendo (14) donde $\frac{\Delta L}{L}$ es igual al crecimiento de la población y resolviendo para κ

$$\hat{\kappa} = s \hat{y} - (\delta + n)\hat{\kappa} \quad (15)$$

Acorde con *Solow-Swan*, la ecuación (15) describe el comportamiento dinámico del capital per cápita que se encuentra en función del ahorro de la economía, el producto per cápita, de la tasa de depreciación y el crecimiento de la población.

Asumiendo que la razón K/L es constante y que no existe variación, la economía se encuentra en equilibrio como la ecuación fundamental para el estado estacionario de *Solow-Swan*:

$$s \hat{y} = (\delta + n)\hat{\kappa} \quad (16)$$

Si en (8) se asume que las variables están expresadas en niveles:

$$\dot{y} = \hat{A} * \hat{k}^\alpha * \hat{q}^{1-\alpha} \quad (17)$$

Reemplazando (17) en (16):

$$s * \hat{A} * \hat{k}^\alpha * \hat{q}^{1-\alpha} = (\delta + n)\hat{k} \quad (18)$$

Resolviendo para \hat{k} (18), el estado estacionario del del capital per cápita será:

$$\hat{k} = \left(\frac{s * \hat{A} * \hat{q}^{1-\alpha}}{\delta + n} \right)^{1/(1-\alpha)}$$

$$\hat{k} = \left(\frac{s * \hat{A}}{\delta + n} \right)^{1/(1-\alpha)} * \hat{q} \quad (19)$$

Y el estado estacionario del producto per cápita será:

$$\dot{y} = \hat{A} * \left(\frac{s * \hat{A}}{\delta + n} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} * \hat{q}^\alpha * \hat{q}^{1-\alpha} \quad (20)$$

Reduciendo \hat{q} y \hat{A} :

$$\dot{y} = \hat{A}^{1/(1-\alpha)} * \left(\frac{s}{\delta + n} \right)^{\alpha/(1-\alpha)} * \hat{q} \quad (21)$$

1.3. Sendero de crecimiento balanceado

Al considerar que (19)-(21) se considera un estado estacionario de la economía en las derivaciones *Solow-Swan*; de igual forma, es posible obtener el sendero de crecimiento balanceado entre capital y producto per cápita; en consecuencia, en (19) se aplica logaritmo y se diferencia respecto del tiempo para apreciar la tasa de crecimiento balanceado del capital per cápita:

$$\frac{\Delta \hat{k}}{\hat{k}} = (1/(1-\alpha)) * \left(\frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta A}{A} - \frac{\Delta(\delta+n)}{\delta+n} \right) + \frac{\Delta \hat{q}}{\hat{q}} \quad (22)$$

En (21) se aplica logaritmo y se diferencia respecto del tiempo, por lo cual, se obtiene la tasa de crecimiento estacionario del producto per cápita:

$$\frac{\Delta \dot{y}}{\dot{y}} = (1/(1-\alpha)) \frac{\Delta \hat{A}}{\hat{A}} + (\alpha/(1-\alpha)) * \left(\frac{\Delta s}{s} - \frac{\Delta(\delta+n)}{\delta+n} \right) + \frac{\Delta \hat{q}}{\hat{q}} \quad (23)$$

Las implicaciones de (22) y (23) significa que la economía crece con tasas constantes de producto per cápita, capital per cápita dado participaciones constantes en el capital y el trabajo sobre la distribución del ingreso (Kaldor) más una tasa de crecimiento en la educación.⁵

1.4. Especificaciones alternativas para la emisión de dióxido de carbono: hacia un modelo Solow-Swan verde.

La relación básica entre la contaminación ambiental y el crecimiento económico se puede establecer por la siguiente relación:

$$E_t = T_t * Y_t^\gamma * N_t^{1-\gamma} \quad (24)$$

En (24): E_t representa la emisión de dióxido de carbono como *proxy* de la contaminación ambiental; T_t es una constante como la contaminación media; Y_t es la producción de la economía y N_t corresponde a la población.

Si se manipula (24) con algebra básica, se obtiene a una ecuación en términos per cápita:

$$e_t = T_t * y_t^\gamma \quad (25)$$

En (25) e_t simboliza la emisión de dióxido de carbono $(E/N)_t$ per cápita y el y_t el producto per cápita $(Y/N)_t$. Si se aplica logaritmo y se diferencia respecto al tiempo se obtiene la elasticidad de la contaminación ambiental - crecimiento económico:

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{\Delta T}{T} + \gamma \frac{\Delta y}{y} \quad (26)$$

A partir de (26), la literatura relacionada aborda la relación cuadrática entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental, llamada la ecuación *Kuznet*, 27:

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{\Delta T}{T} + \gamma_1 \frac{\Delta y}{y} + \gamma_2 \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2 \quad (27)$$

La relevancia de (27) permite apreciar dos efectos esperados: el crecimiento económico en su término lineal afecta positivamente a la contaminación ambiental ($\gamma_1 > 0$); sin embargo,

⁵ De igual forma en (23), si no existe acumulación de capital (estado estacionario de la economía), el PIB real crece a un cambio tecnológico, más la tasa de crecimiento poblacional, más la tasa de educación.

después de alcanzar cierto nivel de crecimiento económico, esto es el término cuadrática, la relación se vuelve negativa ($\gamma_2 < 0$).

De forma alternativa, con las expresiones (26) y (27) se pueden vincular los determinantes de *Solow-Swan* en el crecimiento económico señalados en la ecuación (21),(23):

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{\dot{T}}{T} + \gamma \left((1/(1-\alpha)) \frac{\Delta A}{A} + (\alpha/(1-\alpha)) * \left(\frac{\Delta s}{s} - \frac{\Delta(\delta+n)}{\delta+n} \right) + \frac{\Delta q}{q} \right) \quad (28)$$

En (28), se expresa el crecimiento natural de la contaminación per cápita (g_e)⁶ como una constante dado el cambio tecnológico de la producción y la variación en la educación:

$$g_e = \gamma \left((1/(1-\alpha)) \frac{\Delta A}{A} + \gamma \frac{\Delta q}{q} \right) \quad (29)$$

Al combinar (28) y (29), se obtiene el cambio en la emisión de dióxido de carbono per cápita en función de los determinantes del crecimiento económico *Solow-Swan*:

$$\frac{\Delta e}{e} = g_e + \delta_1 \frac{\Delta s}{s} + \delta_2 \frac{\Delta(\delta+n)}{\delta+n} \quad (30)$$

El cambio en la contaminación ambiental (30) está en función del cambio porcentual en el nivel de ahorro en la economía y en función del cambio porcentual en la depreciación y el crecimiento en la población como ecuación fundamental *Solow-Swan verde*.

En 30, se espera que $\delta_1 > 0$ dado que el nivel de ahorro se direcciona hacia la inversión y tiene un efecto positivo sobre el crecimiento económico; por otra parte, se espera que $\delta_2 < 0$; en el sentido que un aumento en la tasa de depreciación o crecimiento en la población disminuye el crecimiento económico por tanto la relación es inversa con la contaminación ambiental.

II. DATOS Y METODOLOGÍA

II.1. Datos empleados

Con base en información del Banco Mundial se abordó la relación entre el crecimiento económico— medido por la variación del PIB per cápita— y la contaminación ambiental en Bolivia

⁶ La interpretación de g_e implica la tasa natural de contaminación ambiental (decrecimiento, crecimiento o cero nivel de emisión de contaminantes) cuando no existe crecimiento en los determinantes *Solow-Swan*.

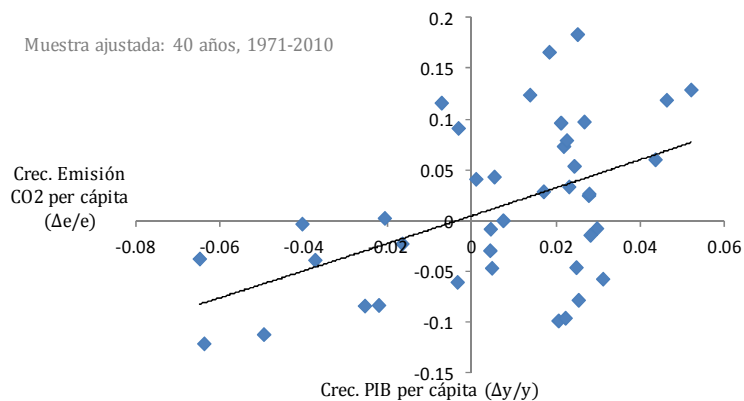
operacionalizado por la variación porcentual en la emisión de dióxido de carbono (Ktn) per cápita.

De acuerdo con el *gráfico 1*, mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO), se evidenció una relación positiva entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental al nivel del 1% de significancia estadística; lo cual implicaría una especificación en forma lineal sin evidencia de curva Kuznet para Bolivia (no existe forma de U invertida, ecuación 27).

La relación preliminar entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental permite evidenciar una sensibilidad elástica; a manera de regla de dedo, un incremento del ingreso per cápita del 1% provoca un incremento en la emisión per cápita de dióxido de carbono en 1.32%. Por otra parte, dado que la constante es estadísticamente igual a cero, se interpreta que frente a cero crecimiento económico no existe contaminación ambiental.

Sin embargo, el objetivo de esta investigación es explicar los factores que inciden sobre el crecimiento económico y la contaminación ambiental, desde una perspectiva teórica, más allá de la simple estimación econométrica.

Gráfica 1. Relación básica entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental, curva de Kuznet para Bolivia, 1971-2010



$$\Delta e/e = 0.0047 + 1.3682^{***}\Delta y/y + 0.3335 (\Delta y/y)^2$$

ee (0,0161) (0,4330) (12,1834)
 R² ajustado = 0,20
 DW = 1,57; Prob. Norm. J-B = 0.82
 Nivel de significancia estadística: *** al 1%.

Fuente: Estimaciones propias a partir de información del Banco Mundial

Para realizar el análisis de los datos, se empleó información recolectada a partir del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Banco Central de Bolivia (BCB), UDAPE y el Banco Mundial correspondiente al período 1970 – 2012. Para el caso de la emisión de dióxido de Carbono (CO_2) per cápita se tiene información disponible al 2010.

Las variables principales empleadas fueron: 1) participación relativa de la retribución del capital y el trabajo en el ingreso de forma respectiva, 3) producto real, 4) tasa de crecimiento de la población, 5) tasa de educación secundaria (Sala-i-Martin, 2000) , 6) inversión bruta a PIB como medida del ahorro, 7) la depreciación del capital fue estimada mediante el método de inventarios perpetuos.

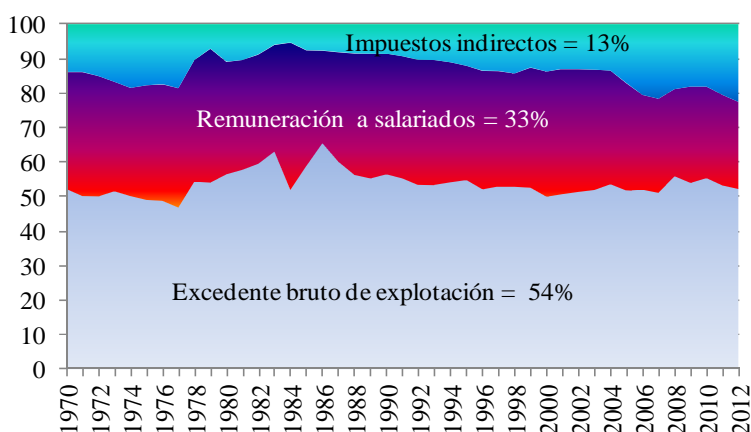
Por otra parte, con el fin de abordar la relación entre la inversión bruta (Ib_t) y la depreciación del capital (δ), se utilizó la metodología de inventarios perpetuos para obtener la tasa de depreciación de la economía:

$$K_t = (1 - \delta) * K_{t-1} + Ib_t \quad (31)$$

$$\delta = \frac{(Ib_t - \Delta K_t)}{K_{t-1}} \quad (32)$$

Asimismo, al considerar los factores de distribución de ingreso en Bolivia, en el *gráfico 2* se aprecia que la economía boliviana es intensiva en capital, en el sentido que la retribución del capital en promedio representó el 54% del ingreso en contraposición con el 33% del aporte trabajo para el período 1970-2012.

Gráfico 2. Distribución del ingreso de Bolivia, 1970 - 2012



Fuente: Elaboración propia con base en datos del INE

II.2. Métodos empleados

Para examinar la relación directa y unidireccional entre los determinantes *Solow-Swan* y de la contaminación ambiental (ecuación 30) se empleó mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Para abordar la relación previa tomando al crecimiento económico, como canal de transmisión, se utilizó mínimo cuadrado en dos etapas (MC2E) y la estimación mediante el método de momentos generalizados (MMG) empleándose los determinantes *Solow-Swan* como variables instrumentales (ecuación 27).

Con el propósito de evaluar el crecimiento sustentable y balanceado, se utilizó una versión estocástica al asumir una realización de 10.000 simulaciones de Montecarlo para la distribución del cambio tecnológico $\sim N\left(\frac{\Delta A}{A}, ee\frac{\Delta A}{A}\right)$, para el cambio en la crecimiento medio de la población y para la realización del regresor estocástico: *elasticidad contaminación ambiental – crecimiento económico* $\sim N(\gamma, ee\gamma^2)$ acorde a las estimaciones de MC2E y MMG respectivamente. Para finalizar, se especificó una precisión del +/- 1% en los pronósticos estocásticos del crecimiento económico y en la variación de la contaminación ambiental.

III. RESULTADOS

III.1. Fuentes del crecimiento económico y crecimiento balanceado con Solow-Swan

Al abordar las fuentes de crecimiento económico, mediante la función de producción Cobb-douglas, se evidenció que la economía boliviana es intensiva en capital en comparación con el uso del capital humano. En consecuencia, la retribución del capital representa el 67% en el crecimiento del producto (α) mientras que la contribución del capital humano representa el 33% restante ($1 - \alpha$); por otra parte, el cambio tecnológico o cambio en la productividad media de los factores fue positiva y significativa en 0.67% como la tasa de crecimiento inercial del producto real al 0.01 de significancia estadística (*apéndice A*).

La relevancia de la retribución del capital (α) y del capital humano ($1 - \alpha$) permitió abordar las fuentes del crecimiento económico para Bolivia, así como la derivación del residuo del solow (*apéndice B*). Los resultados señalan que durante el período 1971-2012, la tasa del crecimiento del capital per cápita fue igual a la tasa de crecimiento del producto per cápita.

Dentro de la perspectiva del crecimiento del PIB real, para crecer a una tasa igual o superior al 5%, así como un ingreso per cápita superior al 3%, el nivel de inversión en términos a PIB

debe ser al menos del 20% (se asume la identidad ahorro igual a inversión); sin embargo, mayor tasa de inversión no implica necesariamente mayor crecimiento del PIB real; el efecto sobre el crecimiento no es proporcional al considerar que la tasa de depreciación del capital también se acelera en el tiempo (*apéndice C*).

Frente al punto anterior, surge el cuestionamiento: ¿cuánto debería crecer la economía boliviana en términos de crecimiento balanceado? Para responder a esta pregunta, se utilizaron los determinantes *Solow-Swan*: 1) la tasa de cambio tecnológico, 2) la distribución media del crecimiento del ahorro (inversión), 3) el cambio medio en la tasa de depreciación y crecimiento de la población, 4) así como un factor de crecimiento educacional con base en el período 1971-2012.

Los resultados sugirieron que la economía boliviana presentaría un crecimiento balanceado a tasas similares entre el capital per cápita (2.78% anual) y el crecimiento del ingreso per cápita (2.55% anual); en consecuencia, al asumir un crecimiento de la media poblacional del 2.15%, el sendero de crecimiento balanceado (semi-balanceado de forma exacta) para el PIB real de Bolivia sería del 4.70% anual con 27 años requeridos para duplicar el ingreso (*apéndice D*).

Sin embargo, el crecimiento anterior señalado corresponde a un sendero determinístico asumiendo certidumbre en la tasa de crecimiento de la población y en el cambio tecnológico; para ello, una versión estática-estocástica sobre estas variables, asume que el sendero balanceado de crecimiento del PIB real oscilaría entre 3.48% y 5.96% de forma respectiva (tasa mínima y máxima al percentil del 5 y 95%) (*Apéndice E*). De forma dinámica hacia el 2025, el escenario más negativo de crecimiento en el PIB real sería una tasa mínima al 2.7% (percentil inferior al 5%) dada la tendencia decreciente en el crecimiento de la población y un crecimiento potencial máximo del 5.1% (percentil superior al 95%) (*Apéndice G*).

III.2. Crecimiento económico y contaminación ambiental en Bolivia Solow-Swan

'verde'

Una vez consideradas las fuentes del crecimiento económico, en esta sección se vincula los determinantes *Solow-Swan* a la contaminación ambiental en Bolivia con dos especificaciones alternativas: 1) efectos directos y unidireccionales de las fuentes *Solow-Swan* sobre la contaminación ambiental; 2) canal de transmisión hacia la contaminación ambiental mediante la tasa de crecimiento económico.

En consecuencia, en el *cuadro 1* se contempla la estimación de la ecuación 30), los resultados señalaron la evidencia de efectos del modelo Solow-Swan para Bolivia: el crecimiento del ahorro (inversión) (δ_1) influyó positiva y significativamente sobre la contaminación ambiental (al nivel del 1%), mientras que el cambio en la depreciación y la tasa de crecimiento poblacional (δ_2) ejerció un impacto negativo y significativo sobre la contaminación ambiental (entre el 1 y 5% de significancia estadística) en las cuatro especificaciones econométricas planteadas (modelos 1 al 4).

De los modelos 1 al 4, al sumar el rango máximo y mínimo del crecimiento del ahorro (inversión) y el cambio en la tasa de depreciación más población, se observa que un cambio en del 1% en la acumulación del capital ($\delta_1 + \delta_2$) produce un cambio entre el +22 y +25% en la emisión de dióxido de carbono (sensibilidad altamente elástica).

En los modelos 2 al 4 (*cuadro 1*), se incluyeron efectos individuales de la participación a PIB sectorial; por lo cual, el crecimiento de la industrialización presentó un efecto negativo y significativo sobre la contaminación ambiental (δ_3) (modelo 2) interpretado como regulaciones específicas para la industria en comparación con otros sectores: agrícola y servicios (modelos 3 y 4) (posiblemente con menor regulación sectorial).

Cuadro 1. Determinantes Solow-Swan ‘verde’ para Bolivia
(Mecanismo unidireccional – efecto directo)

Variable dependiente: Contaminación per cápita de CO2 ($\Delta e/e$)

Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

Muestra ajustada: 1972 - 2010

Observaciones incluídas: 39 después de ajuste

Especificación	Operacionalización	Parámetro	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4	
			Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Constante	g_e	δ_0	0.0137	(0.0103)	0.0160	(0.0098)	0.0138	(0.0100)	0.0148	(0.0105)
Crec. % del Ahorro (Inv.)	$\Delta S/S$	δ_1	0.3195***	(0.0758)	0.3265***	(0.0723)	0.3112***	(0.0743)	0.3278***	(0.0776)
Crec. % de la depre. + pobl.	$\Delta (d+n)/d+n$	δ_2	-0.0750**	(0.0348)	-0.1023***	(0.0355)	-0.0941**	(0.0360)	-0.0739**	(0.0351)
Crec. % Industrialización	Δ (Particip. PIB industrial)	δ_3			-0.4689**	(0.2189)				
Crec. % Sector Servicios	Δ (Particip. PIB agrícola)	δ_4					0.4568	(0.2845)		
Crec. % Sector agrícola	Δ (Particip. PIB servicios)	δ_5							0.1135	(0.1797)
R ² ajustado			0.31		0.37		0.34		0.34	
Prob. Normalidad J-B			0.66		0.10		0.84		0.62	
Número de variables de impulso			1.00		1.00		1.00		1.00	
Estadístico Durbin- Watson			1.66		1.73		1.75		1.63	
Prob. Breusch-Godfrey, Correlación serial (Estad. F, 1 rez.)			0.36		0.63		0.61		0.32	
Prob. Breusch-Godfrey, Correlación serial (Estad. F, 2 rez.)			0.31		0.30		0.25		0.32	
Prob. Efecto ARCH (Estad. F, 1 rez.)			0.82		0.68		0.89		0.96	
Prob. Efecto ARCH (Estad. F, 2 rez.)			0.97		0.95		1.00		1.00	

Nivel de significancia *** al 1%; ** al 5%.

La prueba de normalidad Jarque-Bera (J-B) evalúa la hipótesis nula (H_0) que los residuos presentan una distribución normal.. El estadístico Durbin-Watson permite detectar la presencia de no autocorrelación en primer orden. La prueba de Breusch-Godfrey evalúa la hipótesis de no correlación serial o no autocorrelación en 1 y 2 rezagos respectivamente. El efecto ARCH evalúa H_0 de no heteroscedasticidad autoregresiva y generalizada en 1 y 2 rezagos de forma respectiva. En todos los casos se rechaza H_0 si la probabilidad es inferior al 5%.

De forma alternativa, se abordó la relación crecimiento económico – contaminación ambiental mediante un mecanismo de canal de transmisión al considerar los determinantes *Solow-Swan* más la industrialización como variables instrumentales utilizando dos métodos: mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E) y método de momentos generalizados (MMG).

Los resultados sugirieron que el crecimiento económico influye de forma positiva, significativa y elástica sobre la contaminación ambiental (γ_1 al nivel del 1%), es decir, un incremento del 1% en el crecimiento del ingreso per cápita provoca un cambio porcentual entre el +1.53 y 1.67% en la emisión de dióxido de carbono.

Por otra parte, el cambio en la contaminación ambiental es estadísticamente igual a cero, lo cual implica que si el crecimiento económico es 0%, la contaminación ambiental será del 0%.

Cuadro 2. Crecimiento económico y contaminación ambiental en Bolivia con variables instrumentales Solow-verde + Industrialización

(Mecanismo con canal de transmisión)

Variable dependiente: Contaminación per cápita de CO₂ ($\Delta e/e$)

Muestra ajustada: 1972 - 2010

Observaciones incluidas: 39 después de ajuste

	Operacionalización	Parámetro	Métodos de estimación			
			MC2E		MMG	
			Modelo 1		Modelo 2	
			Coefficiente	Error estándar	Coefficiente	Error estándar
Constante	$\Delta T/T$	γ_0	0.0038	(0.0093)	0.0029	(0.0097)
Crec. Económico	$\Delta y/y$	γ_1	1.5345***	(0.2769)	1.6686***	(0.2360)
VARIABLES INSTRUMENTALES						
Constante	C					
Crec. % del Ahorro (Inv.)	$\Delta S/S$					
Crec. % de la depre. + pobl.	$\Delta (d+n)/d+n$					
Crec. % Industrialización	Δ (Particip. PIB industrial)					
ESTADÍSTICOS PONDERADOS						
R ² ajustado			0.56		0.55	
Prob. Normalidad Jarque-Bera			0.97		0.54	
Prob. Estadístico - J.					0.14	
Estadístico Durbin- Watson			2.15		2.08	
Prob. Efecto ARCH (Estad. F, 1 rez.)			0.47			
Prob. Efecto ARCH (Estad. F, 2 rez.)			0.92			
ESTADÍSTICOS NO PONDERADOS						
R ² ajustado			0.20		0.19	
Estadístico Durbin- Watson			1.71		1.69	

Nivel de significancia *** al 1%.

La prueba de normalidad Jarque-bera evalúa la hipótesis nula (H_0) que los residuos presentan una distribución normal. El estadístico J en MMG evalúa H_0 que las variables instrumentales no están relacionadas con los residuos. El estadístico Durbin-Watson permite detectar la presencia de no autocorrelación en primer orden. El efecto ARCH evalúa la H_0 de no heteroscedasticidad autoregresiva y generalizada en 1 y 2 rezagos de forma respectiva. En todos los casos se rechaza la H_0 si la probabilidad es inferior al 5%.

Al asumir un comportamiento exógeno para la tasa de crecimiento poblacional y en el cambio tecnológico, se puede inferir de forma aleatoria que el crecimiento natural del PIB per cápita de Bolivia oscilaría entre el 1.33% y 3.78% anual; en consecuencia, la tasa de crecimiento de contaminación ambiental natural sería un múltiplo del crecimiento natural del ingreso per cápita (γ_1) (apéndices F.1 y F.2).

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se discuten los resultados encontrados en esta investigación en comparación con estudios previos y en relación con lo que se debería esperar conforme a la teoría. En consecuencia, este apartado contiene tres sub-secciones: 1) sobre la confiabilidad de los parámetros estimados para la economía boliviana y la tasa de crecimiento económico potencial; 2) sobre los resultados del modelo *Solow-Swan* 'verde' para Bolivia; 3) las implicaciones para las políticas públicas y la agenda de investigación.

IV.1. Sobre los parámetros de interés y crecimiento potencial para Bolivia

Para abordar las fuentes de crecimiento económico surgen ciertos parámetros de interés: 1) el aporte o retribución de capital y trabajo humano en la economía; 2) el cambio tecnológico o el aporte de la productividad de factores y 4) el potencial de crecimiento para la economía boliviana (crecimiento natural).

En tal sentido, se comienza realizando una comparación de los resultados para la el aporte del capital (α). De acuerdo con el *cuadro 3*, los resultados de la investigación desarrollada son compatibles con las estimaciones de Jemio (2008) y Morales (1984). De forma adicional, las estimaciones concuerdan con la participación promedio del excedente bruto de explotación en la distribución del ingreso (54%), adicional a la participación impositiva (13%) durante 1971-2012 (*gráfica 1*).

Cuadro 3. Determinantes del crecimiento económico en Bolivia:

Una comparación con estudios previos

Autores	***Investigación desarrollada	Mauricio Vargas, J.P. (2010)	Valdivia & Yujra (2009)	Jemio (2008)	Humérez y Dorado (2006)	Mercado, Leitón & Chacon (2005)	Morales, R. (1984)
Muestra ajustada	1971- 2012	1990-2005	1990-2008	1971-2006	1960-2004	1988-2003	1970-1982
Partic. del capital físico (α)	0.67	0.15		0.69	0.35		0.7
Partic. del capital hum. (trabajo)	0.33	0.47		0.31	0.21		
Cambio tecnol. (Δ Prod. Fact.)	0.67%	1.01-1.34%		1.17%	1.10%		
Crec. natural (potencial) PIB real	4.70%		4.49-5.17% ^a	3.79%	4.40%	4.04% ^b	
Crec. natural PIB real estocástico [†]	3.48-5.93%						
Crec. natural PIB real (al 2025) [†]	2.70-5.10%						
Crec. PIB per cápita balanceado	2.55%			1.07%			
Crec. PIB per cápita estoc. estocástico [†]	1.33-3.78%						

***Resultados de estimaciones propias.

[†] Se considera percentil inferior y superior respectivo: al 5 y 95%;

^a Metodología de filtros de series de tiempo: Nardaraya-Watson y Christiano-Fitzgerald

^b Ecuación de largo plazo del producto tendencial con datos trimestrales anualizados.

Algunas explicaciones plausibles sobre las diferencias en la retribución del capital, en la revisión de estudios previos, se deben a concepciones metodológicas o discrepancias en la manipulación de las variables.

Así por ejemplo, el parámetro más bajo ($\alpha = 0.15$) fue estimado mediante un modelo de equilibrio general dinámico (Mauricio Vargas, 2010). En otras estimaciones, se consideró la operacionalización de la formación bruta de capital como un *proxy* del *aparte* del capital ($\alpha = 0.35$) a pesar de constituirse como una variable de flujo por el lado del gasto (Humérez & Dorado, 2006).

Al contrastar los resultados desde el crecimiento potencial del PIB real o nivel natural (4.70%), se concluye que existe consistencia en las estimaciones al encontrarse dentro del rango 4.04 y 5.17% (Humérez & Dorado, 2006; Mercado, Leitón, & Chacón, 2005; Valdivia & Yujra, 2009), interpretada como la tasa de crecimiento recomendada para la economía; de igual forma, las estimaciones más bajas [3.79% de Jemio (2008)] se encuentran a las características históricas del crecimiento boliviano, las cuales se encuentran dentro del rango estocástico.

Para el mediano plazo, se presenta menor expansión de la economía (hacia el 2025); de hecho en un sentido estrictamente conservador, la economía podría crecer al 2.7% en el PIB real en función de menor crecimiento en la población (1.37%) y del cambio tecnológico.

IV.2. Sobre los resultados del modelo Solow-Swan 'verde' para Bolivia

Los resultados de esta investigación son compatibles con la evidencia empírica del modelo Solow 'verde' para Bolivia (Brock & Taylor, 2010); de forma unidireccional

(mecanismo directo), los determinantes del crecimiento económico afectan a la contaminación ambiental en el sentido que sugiere la teoría: la tasa de ahorro (inversión) afecta positivamente sobre la contaminación medioambiental, se promueve el crecimiento económico y este incide de forma positiva sobre el nivel de emisión de dióxido de carbono.

Por otra parte, un cambio positivo en la depreciación del capital y un aumento en la tasa natural de la población incide de forma negativa sobre la contaminación ambiental, al considerar que estos factores presentan un efecto negativo sobre el crecimiento económico (determinantes *Solow-Swan*).

La explicación del porque una economía en vías de desarrollo no exhibe una convergencia hacia la disminución en la emisión de la contaminación ambiental se fundamenta en la fase de acumulación de capital: la tasa de ahorro (inversión) excede al cambio en la depreciación y la tasa de crecimiento poblacional.

En contraposición, las economías avanzadas han alcanzado la convergencia dado que presentan un rendimiento marginal decreciente del capital dada la industrialización para estos países, así como un cambio tecnológico que induce a menor emisión de contaminantes en el largo plazo (Cherniwchan, 2012).

Los resultados de esta investigación son compatibles con la evidencia para países de ingresos bajos (economías en desarrollo) donde el crecimiento económico acelera el nivel de contaminación (Aslanidis & Irazob, 2009) (como *canal de transmisión*), por lo cual, se rechaza la hipótesis de curva medioambiental de Kuznet (EKC).

Tal vez, el punto de mayor debate sobre los resultados del documento es el impacto de la industrialización sobre la contaminación ambiental: mientras para Bolivia se evidencia un efecto negativo y significativo interpretado como la eficiencia de las regulaciones sectoriales; la evidencia internacional señala que la industrialización es la principal fuente de la emisión per cápita de contaminantes en un conjunto de países en vías de desarrollo (fase inicial), mientras que en la fase de consolidación de la industrialización, el efecto es negativo sobre la emisión de contaminantes (economías desarrolladas) (Cherniwchan, 2012) .

IV.3. Implicaciones para las políticas públicas, limitaciones y la agenda de investigación

De no presentar cambios en la relación crecimiento económico- contaminación ambiental, Bolivia en el mediano plazo (hacia el 2025) se enfrenta a una disyuntiva

entre mayor crecimiento económico o menor nivel de contaminación ambiental (efecto *trade-off*): la regla de decisión es el sendero de crecimiento balanceado.

Si bien Bolivia presenta un crecimiento similar entre el capital y producto per cápita (tasas semi-balanceadas), la relación es desbalanceada entre el crecimiento económico y la contaminación ambiental; por lo cual el primero objetivo a mediano plazo consistirá en balancear el crecimiento sostenible para luego buscar un comportamiento hacia una relación de U invertida en el largo plazo.

Cuando se incorporaron los efectos individuales en la participación de los sectores, se evidenció que a mayor contribución del PIB industrial (industrialización) existió un efecto negativo y significativo sobre el nivel de la contaminación ambiental en comparación con otros sectores económicos (servicios y agrícola), lo cual se puede interpretar como el resultado de las regulaciones ambientales sectoriales y cambio tecnológico-productivo; de hecho, la inferencia sugiere a la industria como el sector económico con mayor regulación sobre el medio-ambiente, misma que se puede interpretar como un objetivo estratégico para el mediano plazo desde un enfoque sostenible.

Desde el punto de vista de las implicaciones para las políticas públicas, la calidad del medio ambiente debe considerarse como un bien normal, en el sentido que un mayor nivel del crecimiento económico debe ser compensado con regulaciones gubernamentales para mayor inversión y protección del medio ambiente (Copeland & Taylor, 2004, pág. 8).

La principal limitación del modelo *Solow-Swan* 'verde' se interpreta como una estimación aplicable para economías desarrolladas en el sentido estricto, por lo cual, en futuros trabajos de investigación se recomienda responder nuevas preguntas de investigación: ¿cómo una economía en vías de desarrollo puede alcanzar el crecimiento sustentable a partir de una situación inicial desbalanceada?; ¿cómo interactúa el crecimiento económico y la contaminación ambiental desde un problema de externalidad simultánea? ¿relaciones de corto o largo plazo?

De igual forma, las preguntas anteriores pueden extenderse a las tres dimensiones del desarrollo sostenible: factor económico, medio-ambiente y desarrollo social (Ciegis, Ramanauskiene, & & Martinkus, 2015) con énfasis para economías en vías desarrollo que presentan crecimientos desbalanceados (insostenibles).

A manera de hipótesis, en trabajos futuros se puede vincular el crecimiento sustentable con la incorporación de factores de producción sectorial con sustitución de

capital que presentan efectos negativos sobre la contaminación ambiental (UN., EC, IMF, OECD, & WB, 2003). Asimismo, en factores de capital sectorial con sensibilidad elástica de sustitución, se pueden implementar impuestos temporales (impuestos de carbono) o subsidios de investigación *verde* que redireccionan el crecimiento sustentable por medio de recursos productivos limpios y el cambio tecnológico (Acemoglu, Aghion, Bursztyn, & Hemous, 2012).

CONCLUSIONES

Estudios previos basados en el modelo *Solow 'verde'* explican la relación: ingreso per cápita y contaminación ambiental al considerar las fuentes del crecimiento económico (Brock & Taylor, 2010; Cherniwchan, 2012). Como contribución adicional al conocimiento existente, se analizaron los determinantes *Solow-Swan* enfocado al crecimiento balanceado, en lugar del estado estacionario, para una economía en vías de desarrollo (Bolivia) con elementos de consideración para economías similares (en trabajos futuros). De la misma manera, se evaluaron especificaciones alternativas en la relación crecimiento económico – contaminación ambiental.

Así, se abordaron dos preguntas de investigación: la primera se relacionaba cómo incidían las fuentes del crecimiento económico en términos de la contaminación ambiental mediante un mecanismo unidireccional (relación directa) y en canal de transmisión; el segundo cuestionamiento estaba vinculado a explicar cuándo se evidenciaba una convergencia o divergencia entre las fuentes del crecimiento económico y la contaminación ambiental.

Para responder a las preguntas abordadas, se empleó la estimación *Solow-Swan verde* como un modelo para evaluar el impacto de la acumulación de capital sobre la contaminación ambiental, cuya evaluación permite identificar: si las fuentes de crecimiento económico generaban un impacto positivo sobre la emisión de dióxido de carbono (divergencia-crecimiento insostenible), convergencia y sustentabilidad en caso contrario mediante efectos directos unidireccionales; si las fuentes del crecimiento eran las variables instrumentales para explicar la relación crecimiento económico-contaminación ambiental (canal de transmisión).

Los hallazgos reflejaron que un incremento en la tasa de inversión (ahorro) influye positivamente sobre la contaminación ambiental, bajo el supuesto que acelera el ingreso per cápita; por otra parte, se evidenció que un incremento en la tasa de depreciación del capital y aumento de la población influye negativamente sobre la

emisión de dióxido de carbono relacionado como factores que inhiben el crecimiento económico.

La acumulación del capital se presenta cuando la tasa de ahorro (inversión) excede al cambio en la depreciación y el crecimiento poblacional como la condición necesaria para explicar la convergencia o divergencia en la relación crecimiento económico- contaminación ambiental.

Para el caso de Bolivia, se evidenció divergencia en la contaminación ambiental donde una variación del +1% en la acumulación del capital influye positivamente entre el +22 y 25% sobre la emisión de dióxido de carbono (determinantes *Solow-Swan mecanismo unidireccional o efecto directo*).

El crecimiento sostenible para Bolivia se presentaría en sendero balanceado entre el crecimiento del capital y el producto per cápita, así como una tasa constante en el nivel de contaminación; sin embargo, para este país el desafío principal consiste en recalibrar la relación crecimiento económico-contaminación ambiental como medida de sustentabilidad: un incremento del ingreso per cápita en 1% produce un incremento en la emisión de dióxido de carbono entre el 1.5 y 1.7% (estimaciones con MC2E y MMG como *canal de transmisión*).

Para el mediano plazo, la convergencia hacia la disminución en la tasa de contaminación ambiental se alcanzaría dada una expectativa de convergencia económica: la tasa de ahorro (inversión) se igualaría al cambio en la depreciación más el crecimiento poblacional (sin acumulación neta de capital).

Al introducir efectos individuales de mayor participación sectorial, se evidenció que la contribución del PIB industrial (industrialización) al producto total ejerce una influencia negativa sobre la tasa de emisión de dióxido de carbono, lo cual se interpreta como el efecto institucional de las regulaciones medio-ambientales con implicaciones de sector estratégico para las políticas públicas.

Bibliografía

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012). The environment and direct technical change. *American Economic Review*, 102(1), 131–166.
- Aslanidis, N., & Iranzob, S. (2009). Environment and development: is there a Kuznets curve for CO2 emissions? *Applied Economics*, 41, 803–810.
- Bo, S. (2011). A literature survey on environmental Kuznets curve. *Energy Procedia*, 5, 1322-1325.

- Brock, W., & Taylor, S. (2010). The Green Solow Model. *J Econ Growth*, 15, 127-153.
- Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., . . . Okita, S. (1987). Our Common Future ('Brundtland report').
- Chahin, F. (s.f.). Medición de la brecha del producto para la economía boliviana.
- Cherniwchan, J. (2012). Economic growth, industrialization, and the environment. *Resource and Energy Economics*, 34, 442–467.
- Ciegis, R., Ramanauskiene, J., & Martinkus, B. (2015). The concept of sustainable development and its use for sustainability scenarios. *Engineering Economics*, 62(2), 28-37.
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, Growth and the Environment. *Journal of Economic Literature*, XLII, 7–71.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377.
- Humérez, J., & Dorado, H. (2006). Una aproximación de los determinantes del crecimiento económico en Bolivia, 1960-2004. *Análisis económico*, 1-39.
- Iwata, H., Okada, K., & Samreth, S. (2012). Empirical study on the determinants of CO2 emissions: evidence from OECD countries. *Applied Economics*, 44(27), 3513-3519.
- Jemio, L. (2008). *La inversión y el crecimiento en la economía boliviana*. Instituto de investigaciones Socio Económicas (Iiec). Documento de trabajo N° 01/08.
- Kahn, M. (1998). A household level Environmental Kuznets Curve. *Economics Letters*, 59, 269-273.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *American Economic Review*,(49), 1–28.
- Mauricio Vargas, J. P. (2010). Análisis del crecimiento y ciclos económicos: Una aplicación general para Bolivia. *Revista de Análisis del Banco Central de Bolivia*, 13(09).
- Mazur, A., Phutkaradze, Z., & Jaba, G. (2015). Economic Growth and Environmental Quality in the European Union Countries—Is there Evidence for the Environmental Kuznets Curve?. *International Journal of Management and Economics*, 45(1), 108-126.
- Mercado, A., Leitón, J., & Chacón, M. (2005). *El crecimiento económico en Bolivia (1952 –2003)*. Instituto De Investigaciones Socio Económicas. Documento de Trabajo No. 01/05.
- Morales, R. (1984). Función de Producción para la Industria Manufacturera en Bolivia. *Análisis Económico No. 2, Banco Central de Bolivia*.

- Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth and energy consumption: Evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia. *Energy Policy*, 60, 892-905.
- Sala-i-Martin, X. (2000). Cap. 10 La literatura empírica. En *Apuntes de crecimiento económico* (Segunda ed., pág. 218). Barcelona.
- Selden, T., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets Curve for air pollution emissions. *Journal of Environmental Economics and management*, 27, 147–162.
- Shafik, N., & Bandyopadhyay, S. (1992). *Economic growth and environmental quality: Time series and cross-country evidence*. Background Paper for the World Development Report. The World Bank., Washington, DC.
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94.
- Soytas, U., Sari, R., & Ewing, T. (2007). Energy consumption, income and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62, 482-489.
- Stern, D. I., Common, M. S., & Barbier, E. B. (1996). Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development. *World development*, 24(7), 1151-1160.
- Swan, T. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32, 344-361.
- UN Millennium Project. (2005). *Investing in development: a practical plan to achieve the Millennium Development Goals*. New York.
- UN., EC, IMF, OECD, & WB. (2003). *Integrated Environmental and Economic Accounting*. Handbook of National Accounting, Studies in Methods., New York, United Nations.
- Valdivia, D., & Yujra, P. (2009). *Identification of Business Cycles in Bolivia, 1970-2008*. MPRA Paper No. 35884, posted 12. .

Apéndice A. Aporte del capital físico y capital humano en el crecimiento real del producto de Bolivia

Variable dependiente: Crecimiento del producto real ($\Delta Y/Y$)

Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

Muestra ajustada: 1971 - 2012

Observaciones incluidas: 42 después de ajuste

Parámetro	$\Delta A/A$ <i>Constante</i>	$\Delta K/K$ <i>α</i>	$\Delta H/H$ <i>(1-\alpha) Implícito</i>
Coefficiente	0.0067***	0.6700***	0.3300
Error estándar	(0.0025)	(0.0171)	
R ² ajustado	0.69	Prob. B-G, Corr.Serial (Estad. F, 1 rez.)	0.98
Prob. Normalidad J-B	0.83	Prob. B-G, Corr. Serial (Estad. F, 2 rez.)	0.45
Número de variables de impulso	3.00	Prob. Efecto ARCH (Estad. F, 1 rez.)	0.15
Estadístico Durbín- Watson	1.95	Prob. Efecto ARCH (Estad. F, 2 rez.)	0.34

Nivel de significancia *** al 1%.

Apéndice B. Fuentes del crecimiento económico en Bolivia
(Expresado en porcentajes)

a) Tasas de crecimiento real y sus respectivas fuentes

	$\Delta Y/Y$	$\alpha^* \Delta K/K$	$(1-\alpha)^* \Delta H/H$	Residuo de Solow
1971-1979	4.4	3.2	2.0	(0.8)
1980-1989	(0.5)	(0.2)	(0.4)	0.1
1990-1999	3.7	2.3	1.2	0.2
2000-2005	2.9	1.8	0.4	0.8
2006-2012	4.7	3.2	0.6	0.9
1971-2012	3.0	2.0	0.8	0.2

b) Varianza del crecimiento real

$\Delta Y/Y$	$\alpha_1^* \Delta K/K$	$\alpha_2^* \Delta H/H$	Residuo de Solow
100	73	45	(18)
100	35	87	(22)
100	62	33	5
100	61	12	27
100	69	12	19
100	67	26	7

c) Crecimiento en términos per cápita

	$\Delta Y/Y$	$\Delta L/L$	n	$\Delta K/K - \Delta L/L$	$\Delta Y/Y - \Delta L/L$	$\Delta K/K - n$	$\Delta Y/Y - n$	Año para duplicar ingreso
1971-1979	4.4	5.9	2.4	(1.1)	(1.5)	2.4	2.0	35
1980-1989	(0.5)	(1.2)	2.4	1.0	0.7	(2.6)	(2.8)	NA
1990-1999	3.7	3.6	2.3	(0.2)	0.1	1.1	1.4	49
2000-2005	2.9	1.0	1.9	1.7	1.9	0.7	1.0	70
2006-2012	4.7	1.7	1.6	3.1	3.0	3.1	3.0	23
1971-2012	3.0	2.2	2.2	0.7	0.7	0.8	0.8	86

NA = No aplicable

Apéndice C. Alternativas de ahorro-inversión y crecimiento económico para Bolivia

Escenarios	Referencia	IB/PIB	DEP/PIB	IN/K	TDEP	Supuestos:					$\alpha^* \Delta K/K$	$(1-\alpha) * \Delta H/H$	$\Delta Y/Y$	$\Delta y/y$	$\Delta k/k$	Años para duplicar ingreso
						$\Delta K/K$	$\Delta L/L = 2.15;$	$q = 1 + 0.0232;$	$\Delta H/H = \Delta L/L * q;$	$\Delta A/A = 0.67$						
a)	1971-2005	14.15	12.84	27.18	24.59	2.59	2.15	1.02	2.20	0.67	1.74	0.73	3.14	0.99	0.44	71
b)	2006-2012	16.60	14.12	32.33	27.54	4.79	2.15	1.02	2.20	0.67	3.21	0.73	4.61	2.46	2.63	29
c)	2011	20.00	17.01	38.95	33.18	5.77	2.15	1.02	2.20	0.67	3.83	0.74	5.25	3.09	3.61	23
d)		25.00	21.26	48.68	41.48	7.21	2.15	1.02	2.20	0.67	4.79	0.74	6.21	4.05	5.05	17
e)		30.00	25.51	58.42	49.77	8.65	2.15	1.02	2.20	0.67	5.75	0.74	7.16	5.01	6.50	14

IB/PIB = Ahorro bruto total/ PIB = Inversión bruta total/ PIB; DEP = Depreciación; $\Delta K / K$ = Crec. Stock de capital real; $\Delta L/L$ = crec. empleo; $\Delta H/H$ = Crec. Cap. Humano; q = factor multiplicativo con educación secundaria; $\Delta A/A$ cambio tecnológico; $\Delta Y/Y$ = Crecimiento del producto real; $\Delta y/y$ = crecimiento del ingreso per cápita; $\Delta k/k$ = crecimiento del capital per cápita.

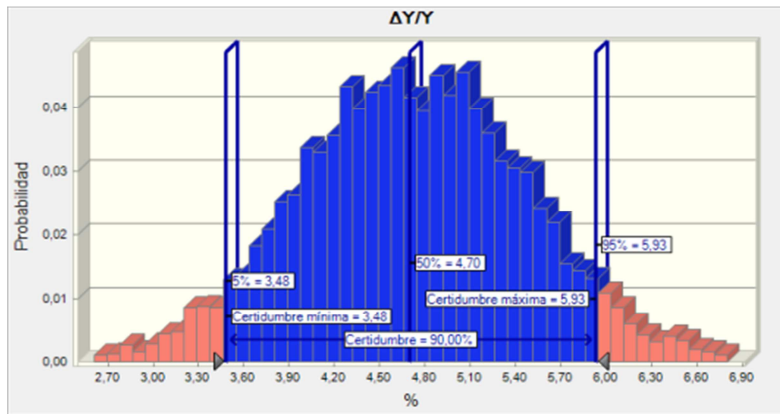
Apéndice D. Sendero de crecimiento balanceado a partir de Solow - Swan

Versión determinística para Bolivia

	$\Delta S/S$	$\Delta A/A$	$\Delta q/q$	$\Delta (d+n)/d+n$	$\Delta k/k_{bal}$	$\Delta y/y_{bal}$	n	$\Delta K/K_{bal}$	$\Delta Y/Y_{bal}$	AÑOS PARA DUPLICAR ING. PER CÁPITA
1971-2012	0.68	0.67	0.05	0.45	2.78	2.55	2.15	4.93	4.70	27

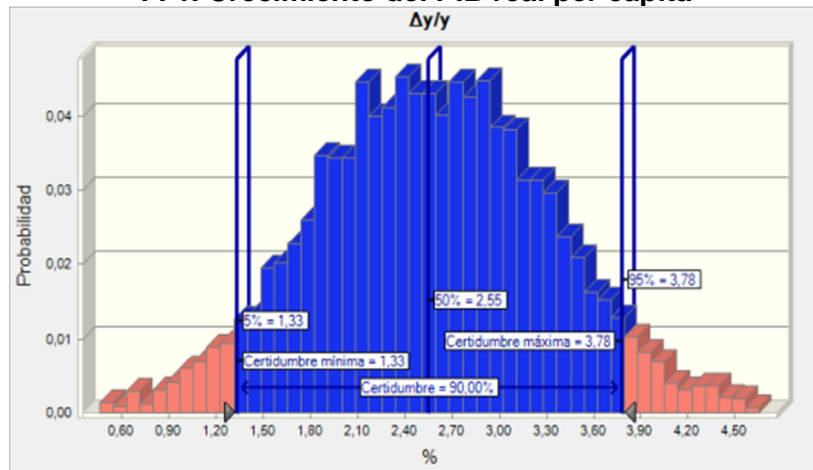
$\Delta S/S$ = Cambio en el ahorro bruto o inversión bruta; $\Delta q/q$ = tasa de cambio en el factor educación; d = tasa de depreciación; n = tasa de crecimiento en la población; $\Delta A/A$ cambio tecnológico; $\Delta k/k$ = crecimiento del capital per cápita en nivel balanceado ($_{bal}$); $\Delta y/y$ = crecimiento del ingreso per cápita en nivel balanceado ($_{bal}$); $\Delta K/K$ = crecimiento del capital en estado balanceado ($_{bal}$); $\Delta Y/Y$ = Crecimiento del producto real en nivel balanceado ($_{bal}$).

Apéndice E. Sendero de crecimiento balanceado
Versión estocástica: Crecimiento del PIB real

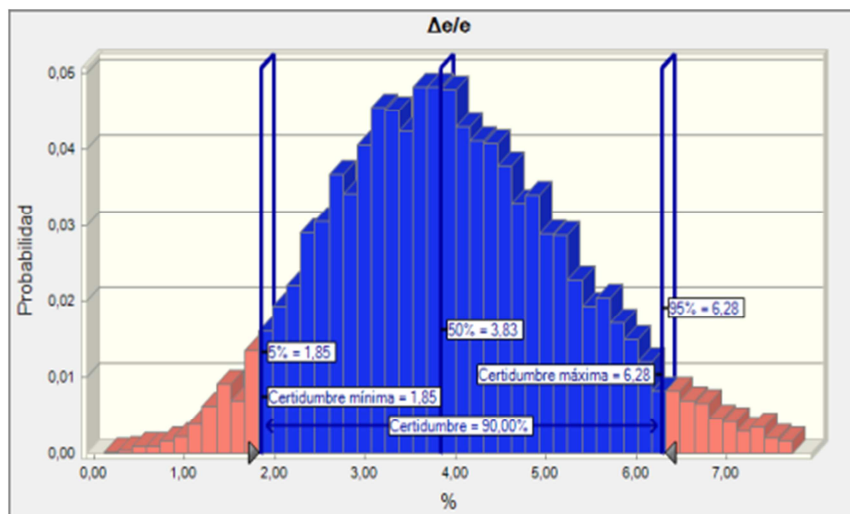


Apéndice F. Sendero de crecimiento natural estocástico para Bolivia

F. 1. Crecimiento del PIB real per cápita



F. 2. Crecimiento natural de la contaminación ambiental per cápita, MC2E



Apéndice G. Crecimiento potencial dinámico-estocástico

Una prospectiva al 2025, Crec. del PIB real, expresado en porcentaje

	Percentiles		
	5	50	95
Al 2015	2.9	4.2	5.4
Al 2020	2.9	4.1	5.3
Al 2025	2.7	3.9	5.1

Apéndice H. Escenario determinístico para el crecimiento económico y la contaminación ambiental, al 2025

