

Complejidad económica y desarrollo humano: comparación de modelos de análisis envolvente de datos estándar y basado en holguras

Diogo Ferraz, Herick Fernando Moralles,
Naijela Silveira da Costa y Daisy do Nascimento

Resumen

Diversos estudios defienden la complejidad económica como modo alternativo de comprender el bienestar. Cada vez más trabajos parten del análisis envolvente de datos (DEA) estándar, pero no se encontraron estudios que los compararan con modelos más avanzados o que consideraran la sofisticación económica como insumo del desarrollo humano. El objetivo es cubrir esta laguna, comparando modelos DEA estándar y SBM como herramientas para medir la eficiencia de los países al convertir complejidad económica en desarrollo humano. Se elaboró el índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica (ICDH-CE), que se aplicó a 50 países con datos de 2013, y se concluyó que los modelos estándar sobrevaloran la eficiencia de los países, especialmente de los más desarrollados y prósperos. En cambio, los modelos SBM proporcionan una mejor clasificación. Finalmente, el ICDH-CE muestra que Singapur es la única economía que transforma de manera eficiente la complejidad económica en desarrollo humano.

Palabras clave

Economía, crecimiento económico, desarrollo humano, modelos de desarrollo, indicadores del desarrollo, medición, modelos econométricos

Clasificación JEL

O14, O15, O3

Autores

Diogo Ferraz¹ es Profesor en el Departamento de Economía de la Universidad Federal de Ouro Preto (Brasil). Correo electrónico: diogoferraz@alumni.usp.br.

Herick Fernando Moralles es Profesor del Departamento de Ingeniería de la Producción (DEP) de la Universidad Federal de São Carlos (Brasil). Correo electrónico: herickmoralles@dep.ufscar.br.

Naijela Silveira da Costa es estudiante de doctorado en el Departamento de Ingeniería de la Producción (DEP) de la Universidad Federal de São Carlos (Brasil). Correo electrónico: najelajanaina@gmail.com.

Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto es Profesora del Departamento de Ingeniería de la Producción (DEP) de la Universidad Federal de São Carlos (Brasil). Correo electrónico: daisy@usp.br.

¹ Este autor agradece el apoyo económico de la Coordinación de Mejora de Personal de Nivel Superior (CAPES) (proceso núm. 88887.161388/201700), el Lions-Club-Förderpreis (Stuttgart, Alemania) y la Friedrich-Naumann-Stiftung für die Freiheit.

I. Introducción

El crecimiento económico no puede proporcionar una comprensión total del desarrollo y el bienestar humano. Sen (2001) desarrolló el enfoque de las capacidades humanas, que suscitó la aparición de una serie de estudios sobre nuevos indicadores para comprender el desarrollo humano (Despotis, 2005a y 2005b; Zhou y Zhou, 2010; Morais y Camanho, 2011; Toffalis, 2014; Mariano y Rebelatto, 2014). Por ejemplo, la transformación de riqueza en desarrollo humano fue denominada eficiencia social (puede encontrarse una revisión bibliográfica estructurada en Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015), en un enfoque que pretende mostrar cómo los países pueden usar su riqueza para mejorar distintos aspectos de la calidad de vida, como la educación, la riqueza, el saneamiento y el empleo. No obstante, el enfoque de la eficiencia social presenta numerosas lagunas (Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015). Por ejemplo, hay que comparar distintos modelos para medir la eficiencia social y es preciso comprender qué variables, aparte del crecimiento económico, pueden explicar el desarrollo humano (Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015).

De acuerdo con un enfoque teórico más actual, la sofisticación económica influye en varias dimensiones de las capacidades humanas, puesto que los bienes tecnológicos dependen del conocimiento disponible para su producción (Hidalgo y Hausmann, 2009; Hausmann y otros, 2014; Hartmann, 2014; Guevara y otros, 2016; Hartmann y otros, 2017; Hidalgo y otros, 2007). De este modo, por un lado, la complejidad económica requiere más capacidades humanas y, por el otro, afecta a condiciones de vida tales como niveles educativos, sistemas de salud, infraestructuras (puertos, carreteras, aeropuertos), el mercado laboral y los salarios (Hartmann, 2014; Hartmann y otros, 2017). Las economías pueden generar conocimiento útil a través de una red de personas que producen una variedad de productos de alta tecnología, lo cual se puede traducir en desarrollo humano (Hausmann y otros, 2014; Hartmann y otros, 2017).

Los trabajos sobre el tema demuestran que la complejidad económica puede mejorar la estructura de producción, creando así mejores condiciones y más oportunidades para que las personas desarrollen sus capacidades y aumenten el progreso social de una nación. Un país sofisticado crea nuevos sectores y genera empleos de mejor calidad, haciendo que el país sea más resiliente ante crisis económicas. Así pues, la literatura ha mostrado la importancia de la complejidad económica para el desarrollo económico y el bienestar (Hartmann, 2014; Hartmann y otros, 2017; Antonelli, 2016; Ferrarini y Scaramozzino, 2016; Guevara y otros, 2016).

A pesar de que el número de estudios al respecto es cada vez mayor, todavía no se ha analizado el nivel de eficiencia de un país a la hora de transformar la complejidad económica en desarrollo humano. Un modo sencillo de hacerlo es crear un indicador usando la técnica del análisis envolvente de datos (*data envelopment analysis* (DEA)). El DEA puede ayudar a abordar esta difícil cuestión al permitir medir la complejidad económica y el desarrollo humano en un único indicador. El DEA emplea métodos de programación matemática lineal para medir la eficiencia de las unidades de toma de decisiones (por ejemplo, en este caso, los países) a la hora de traducir insumos (por ejemplo, la complejidad económica) en los niveles más elevados posibles de resultados (por ejemplo, desarrollo humano). Los métodos de DEA se pueden usar para revelar el número máximo de resultados sociales que se pueden producir por unidad de complejidad económica por países o regiones comparativos. Así, el DEA es especialmente idóneo para medir la eficiencia de las naciones a la hora de convertir su estructura económica en capacidades humanas. Esto permite identificar mejor las ineficiencias y cuellos de botella en los países, así como facilitar el aprendizaje a partir de la experiencia de regiones más eficientes que logran niveles más elevados de desarrollo humano con una estructura de producción igual o menos desarrollada. Este indicador resulta relevante porque señala las mejores prácticas en todo el mundo, una información crucial para las personas responsables de la formulación de políticas. A partir de él, las autoridades pueden comparar regiones y valorar políticas públicas e industriales.

Una de las contribuciones del presente artículo es la comparación de los modelos DEA estándar, como los rendimientos constantes a escala (RCE) y los rendimientos variables a escala (RVE), con modelos de medición basada en holguras (*slack-based measure* (SBM)). Los estudios comparativos de modelos DEA en este campo podrían mostrar la importancia de recurrir a modelos idóneos para el enfoque del índice de desarrollo humano, pero no se ha encontrado ninguno en la revisión de la literatura. Con el fin de dar respuesta a las cuestiones planteadas, el objetivo del presente estudio es comparar modelos DEA estándar y SBM, y efectuar una medición de la eficacia de las naciones a la hora de convertir la complejidad económica en desarrollo humano a través del análisis de 50 países de todo el mundo con datos de 2013 tomados de una base de datos desarrollada por el Banco Mundial (2018a). La información se emplea en un nuevo indicador que hemos desarrollado, el índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica (ICDH-CE), para mostrar el modo en que la complejidad económica se transforma en desarrollo humano.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: en la sección II se revisa la bibliografía existente sobre crecimiento económico, desarrollo humano y complejidad económica. En la sección III se presentan los modelos DEA y se explica la metodología utilizada. En la sección IV se describen los resultados, se analizan los modelos y las conclusiones, se expone el índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica (ICDH-CE) y se aportan algunos mapas con fines ilustrativos. Por último, en la sección V se recogen algunas observaciones finales.

II. Revisión bibliográfica

1. Desarrollo humano y crecimiento económico

El crecimiento inclusivo es una preocupación de alcance mundial. Según el Fondo Monetario Internacional (FMI, 2017), tanto los países grandes como los pequeños con economías desarrolladas o avanzadas han tenido problemas para proporcionar empleo a la totalidad de su población activa. Además, los países tienen que equiparar las oportunidades de acceso a mercados y recursos. Este nuevo concepto de crecimiento económico va en la línea de la perspectiva de desarrollo humano presentada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2016). El crecimiento económico se suele considerar el único modo de alcanzar el desarrollo económico e incrementar las capacidades humanas. No obstante, las Naciones Unidas han mostrado que la relación entre crecimiento económico y desarrollo humano es compleja, de lo cual se deriva la necesidad de disponer de métodos adecuados para comprender este proceso (PNUD, 2000).

Para entender mejor esta relación, Sen (1998) analizó la correlación entre ingresos y esperanza de vida en una serie de países. El autor concluyó que algunos países de ingreso relativamente bajo alcanzaban una esperanza de vida relativamente elevada. Además, algunos países de ingreso bajo presentaban una esperanza de vida similar a la de naciones con ingreso alto. Este complejo fenómeno muestra que el crecimiento económico no garantiza el desarrollo humano (Sachs, 2004; Schumpeter, 1982), por lo que se hace necesaria una interpretación nueva o alternativa de este proceso. Otros estudios han argumentado que la sofisticación económica puede mejorar la capacidad de una nación para abordar los problemas sociales y mejorar el desarrollo humano (López, Thomas y Wang, 2008; Hartmann, 2014; Guevara y otros, 2016; Hartmann y otros, 2017). En este sentido, varios de estos estudios se han centrado en analizar el modo en que la sofisticación económica afecta al desarrollo humano a través de la complejidad económica. En la siguiente sección, se discute el modo en que la complejidad económica puede mejorar el desarrollo humano.

2. Complejidad económica: innovación y cambio estructural

Desde la Revolución Industrial, se han creado muchos sectores económicos, han cambiado los bienes producidos y también los actores sociales implicados en el proceso de desarrollo económico (Saviotti y Pyka, 2013). Esto es importante porque, según Prebisch (1962) y Furtado (1959), las limitaciones de la estructura productiva eran responsables de los problemas de los países en relación con la distribución de ingresos y el empleo. Factores estructurales como el valor agregado de la agricultura, la industria y los servicios, el tamaño de la población urbana, los niveles educativos y los patrones demográficos en forma de tasas de fertilidad y mortalidad se asocian con el desarrollo económico y desempeñan un papel fundamental a la hora de explicar las desigualdades entre países (FMI, 2017). El surgimiento de un nuevo enfoque, denominado complejidad económica, hizo que se revisara esta cuestión y se analizara la importancia de la sofisticación económica y de la canasta de exportaciones para el crecimiento económico y las cuestiones sociales (Hidalgo y otros, 2007; Agosin, 2009; Hidalgo y Hausmann, 2009; Hausmann y otros, 2014; Hartmann y otros, 2017).

El argumento de la complejidad económica es que los países con ingresos per cápita elevados se caracterizan por la diversificación de su agenda de exportaciones y por la capacidad de exportar productos de elevado perfil tecnológico (Tacchella y otros, 2013; Ferrarini y Scaramozzino, 2016; Tacchella y otros, 2013; Gala, 2017; Gala, Camargo y Freitas, 2017). De este modo, la complejidad económica se define por los tipos de productos que desarrolla un país, y la fabricación de productos tecnológicos implica quizás una combinación de múltiples tipos de conocimiento disponible. En una economía compleja, las personas se desempeñan en puestos de trabajo variados (finanzas, *marketing*, tecnología, recursos humanos, operaciones, derecho) y necesitan interactuar y combinar sus conocimientos para elaborar productos sofisticados y valiosos. Por el contrario, cuando una nación carece de capital humano, le resulta imposible crear nuevos sectores o productos tecnológicos, aumentar la riqueza y mejorar las condiciones de vida (Hausmann y otros, 2014).

La complejidad económica genera riqueza porque la ventaja competitiva incrementa las exportaciones de productos de alta tecnología. Según Tacchella y otros (2013), los países con una capacidad más excepcional para producir bienes sofisticados tienen más posibilidades de obtener ingresos más elevados que los países menos productivos. Esto se debe a que los países que dependen de las exportaciones de productos básicos enfrentan una volatilidad macroeconómica causada por la impredecibilidad de los precios de dichos productos básicos y una volatilidad del tipo de cambio real que desincentivan la inversión en bienes y servicios comercializables (Agosin, 2009; Ferrarini y Scaramozzino, 2016; Nkurunziza, Tsowou y Cazzaniga, 2017).

La sofisticación de una economía se puede medir a través del índice de complejidad económica (ICE), que se calcula a partir de datos de las Naciones Unidas (Hidalgo y Hausmann, 2009). No obstante, el ICE ha recibido críticas por su formulación teórica y matemática, que hace difícil determinar la importancia real de la sofisticación económica en un país (Tacchella y otros, 2013). Otro problema es que el ICE presenta valores positivos y negativos, lo que complica su uso en modelos econométricos y DEA.

Un modo alternativo de comprender la complejidad económica es utilizar los elementos que influyen en la sofisticación económica. Los dos principales elementos que afectan a la complejidad económica son: i) la diversificación de exportaciones, es decir, la capacidad de exportar productos de alta tecnología, y ii) el gasto en investigación y desarrollo (I+D). La I+D resulta fundamental porque la diversificación y la exportación de productos altamente tecnológicos requiere innovación. Las empresas llevan a cabo labores de I+D para generar productos de mejor calidad, crear nuevos procedimientos y hacer que la producción sea más eficiente. Es la investigación la que proporciona el conocimiento necesario para crear innovaciones (Saviotti y Pyka, 2004). Además, los nuevos sectores y la mejora

de los productos compensan el descenso de la capacidad de sectores establecidos y proporcionan nuevos empleos para la mano de obra cualificada (Saviotti y Pyka, 2013).

Según Saviotti y Pyka (2004), la I+D es el ejemplo más habitual, pero no el único, de las actividades de investigación e innovación que tienen lugar en el seno de las empresas. La I+D se considera un aporte no estándar que determina un porcentaje importante de la eficiencia y la competitividad de las empresas. En las economías desarrolladas, ocurre ante todo en el sector de la maquinaria y el equipamiento agrícolas, que suele ser el núcleo del sector de los bienes de equipo y sirve como primer paso hacia la creación de nuevos sectores (Moralles y Rebelatto, 2016).

El cambio estructural motivado por la innovación es el factor que más contribuye a la creación de nuevos sectores y el sostenimiento del desarrollo económico (Saviotti, Pyka y Jun, 2016). Requiere cambios técnicos y sociales, así como el desarrollo de nuevas destrezas que resulten de utilidad para las empresas y para la sociedad (Kruss y otros, 2015). Una economía centrada en la exportación de productos tecnológicos y en la I+D tiende a crecer y a desarrollarse desde un punto de vista social.

Un ejemplo son los centros urbanos presentes en economías complejas: tienden a contar con mejores infraestructuras y los agentes que operan en ellos deben tener más capacidades. Hartmann (2014) argumenta que las capacidades de las personas se ven influidas por la región en que viven. Los empleos que se generan en los centros urbanos suelen ser intensivos desde el punto de vista tecnológico y requieren una mayor formación técnica que los puestos de trabajo en otros lugares, así como una red de conocimientos compartida por una serie de personas. Esto demuestra la influencia de la complejidad económica en el desarrollo humano.

3. Vínculo entre complejidad económica y desarrollo humano

Según Hausmann y otros (2014), el conocimiento desempeña un papel crucial en las economías complejas y se traduce en mejores condiciones de vida. Por ejemplo, Hartmann y otros (2017) encuentran una fuerte correlación entre complejidad económica, igualdad de ingresos, educación y crecimiento del PIB. En otras palabras, los países complejos presentan un mayor crecimiento del PIB, un mayor capital humano y una mejor distribución de ingresos, lo cual proporciona a los ciudadanos locales mejores oportunidades en el mercado laboral y un acceso adecuado a los sistemas sanitario y educativo.

Para Ferrarini y Scaramozzino (2016), la complejidad económica requiere una mejor educación porque influye en el desarrollo de nuevas destrezas y la formación de capital humano. Una economía en proceso de crecimiento y modernización requiere políticas públicas que proporcionen condiciones para una mayor innovación, competitividad y diversificación económica. Mustafa, Rizov y Kernohan (2017) señalan que las economías avanzadas de Asia, como el Japón, la Provincia China de Taiwán y la República de Corea, presentaron un rápido desarrollo humano que las pusieron al nivel de los países industrializados avanzados. Como consecuencia, estos países han alcanzado tasas de crecimiento económico excepcionalmente altas en los últimos 30 a 40 años. Por ejemplo, el Japón tiene la esperanza de vida más elevada de todos los países analizados, y la República de Corea presenta una productividad laboral creciente asociada a la gran mejoría del capital humano acumulado. Frente a esto, China sigue presentando un déficit de capital humano, lo que indica que el Gobierno chino podría estimular el crecimiento económico mediante una inversión en educación (Lee, 2017).

Hartmann y otros (2017) compararon la desigualdad de ingresos y la complejidad económica entre América Latina y algunos países asiáticos (China, Malasia, la República de Corea y Singapur). Si bien las economías latinoamericanas mostraron mejoras sociales como consecuencia del alza en los precios de los productos básicos en la década de 2000, la región no diversificó su economía y esto se reflejó en la falta de mejores oportunidades de trabajo. Por otra parte, los países asiáticos invirtieron

en capital humano e innovación tecnológica, lo que cambió la canasta de exportaciones de la región, incrementó su competitividad y los situó en mejor posición para afrontar crisis económicas (Lee, 2017).

El cambio estructural resulta esencial porque nuevos sectores tecnológicos elevan los salarios medios y la demanda de mano de obra cualificada, que precisa de niveles educativos más altos (Antonelli, 2016). La formación profesional incrementa los ingresos per cápita y el poder adquisitivo de los consumidores, además de mejorar la calidad de los bienes producidos por trabajadores cualificados. Este círculo virtuoso desempeña un papel fundamental en la transformación de sociedades con abundante mano de obra poco cualificada (Saviotti, Pyka y Jun, 2016).

Ferrarini y Scaramozzino (2016) mostraron que el aumento de la complejidad ha incrementado la acumulación de capital humano al promover la adquisición de destrezas y el aprendizaje. Obtuvieron un coeficiente positivo entre educación y producción per cápita y un coeficiente de participación de mano de obra negativo como consecuencia de la baja tasa de sustitución entre factores de producción y la mano de obra empleada en economías más débiles. Además, los países asiáticos mostraron un crecimiento sostenido, mientras que Alemania, España, los Estados Unidos, Francia, Italia y el Reino Unido presentaron un crecimiento lento.

4. Cambio estructural y políticas públicas

Distintos estudios han analizado el modo en que el cambio estructural y las políticas públicas influyen en el desarrollo de los países. En el Japón, la mecanización agrícola liberó la mano de obra para que esta pudiera acceder al sector industrial, se elevaron los salarios y se produjo un fenómeno de urbanización. Este proceso duró más de 15 años y tuvo lugar porque la productividad creció en todos los sectores. En las actividades no agrícolas, la productividad aumentó por la adopción, imitación y asimilación de los flujos de conocimiento técnico propios de las naciones avanzadas, que dependían del nivel de capital humano (Esteban-Pretel y Sawada, 2014).

Este cambio estructural se produjo porque el Gobierno japonés subvencionó los precios y las inversiones con el objetivo de mecanizar la agricultura. A fin de promover el desarrollo industrial, el Gobierno redujo el tipo de interés y aumentó el nivel de préstamos e inversiones para el sector. Estas inversiones financiaron empresas públicas relacionadas con infraestructuras. Los bajos tipos de interés permitieron el desarrollo de sectores estratégicos como el transporte marítimo, la electricidad, la construcción naval, la fabricación de automóviles y maquinaria, el hierro y el acero, la minería del carbón y el refinado de petróleo (Esteban-Pretel y Sawada, 2014).

Otro ejemplo es el caso de la República de Corea, donde la política de desarrollo se basa en las exportaciones. Según Lee (2017), la liberalización comercial permitió la importación más barata de bienes intermedios y dio acceso a tecnologías avanzadas, contribuyendo al rápido crecimiento de la productividad industrial. Una política de exportaciones orientada a la industrialización estimuló a los exportadores y generó ventajas comparativas para las empresas coreanas en el comercio internacional. Las industrias que requerían gran cantidad de mano de obra dieron paso a industrias que exigían grandes inversiones de capital en el campo de la electrónica, la maquinaria, la automoción, la construcción naval y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC). Como consecuencia de esta estrategia, los ingresos per cápita de la República de Corea crecieron hasta alcanzar el nivel de los países desarrollados, proporcionando mejores condiciones de vida a los ciudadanos del país.

China está creciendo a un ritmo medio anual del 9,5%, si bien la economía china sigue por detrás de las de otros países del continente asiático (Lee, 2017). Por ejemplo, el PIB per cápita de China en 2011, de 8.850 dólares en paridad del poder adquisitivo (PPA), era comparable al de la República de Corea en 1988 (9.137 dólares PPA) y el Japón en 1968 (9.527 dólares PPA). Además, la productividad

relativa de China en 2010 (44%) fue inferior a la de la República de Corea en 1980. Lee (2017) declara que la economía china va más de 20 años por detrás de la coreana y más de 40 años por detrás de la japonesa. Para que China pase de una economía de ingreso bajo a una economía de ingreso alto, debe desarrollar industrias más sofisticadas desde el punto de vista tecnológico (Lee, 2017). Su progreso tecnológico depende de políticas para promover la innovación tecnológica, aumentar la inversión en I+D y actualizar su sector industrial.

Singapur es una economía de ingreso alto y constituye un entorno excelente para la actividad empresarial, con condiciones normativas favorables para el emprendimiento local, por lo que el país se encuentra entre las economías más competitivas del mundo. Singapur vivió un proceso rápido de industrialización en la década de 1960 (Banco Mundial, 2018b) y el sector de la manufactura es el motor de su crecimiento económico. Por ejemplo, Singapur creció un 3,2% en 2018, y dicho crecimiento se concentró en la fabricación de productos de valor agregado como la electrónica y la ingeniería de precisión, el sector de las TIC, y las finanzas y los seguros (FMI, 2017). Además, el Gobierno de Singapur ha aplicado sólidas políticas de educación pública y capital humano (Gopinathan, 2007), de modo que, de acuerdo con el índice de capital humano del Banco Mundial (2018), se trata del mejor país del mundo en términos de desarrollo del capital humano: el niño o la niña medios en Singapur cuando crezcan tendrán el 88% de la productividad laboral que podrían tener si disfrutaran de una educación completa y una salud perfecta.

Por el contrario, América Latina adoptó un modelo de desarrollo muy criticado, en el que el sector productivo moderno compite con el sector de producción primaria. La disponibilidad de tierras para el cultivo absorbe a los trabajadores rurales y a los migrantes, alejando a la mano de obra cualificada de otros sectores de la economía. La región es susceptible al llamado síndrome holandés, puesto que, cuando crecen los precios de los productos básicos, el crecimiento de la producción y el empleo se centra en la canasta de exportaciones de productos básicos en los cuales se especializa. Por ejemplo, los datos del Banco Mundial (2018a) muestran que el 55,3% del total de exportaciones está compuesto por productos básicos. Además, solo el 20,8% de la mano de obra está adscrita al sector industrial. Desde una perspectiva social, el 41,2% de la población latinoamericana es pobre y existen diversos problemas con los sistemas de transporte, las infraestructuras y la competitividad internacional de los productos de la región.

El Brasil es el país más grande de América Latina y el Gobierno brasileño sigue pendiente de mejorar su estrategia de desarrollo industrial. Un ejemplo de éxito es la adopción de la biotecnología para la producción de soja, que ha reducido la intensidad del trabajo agrícola y ha ampliado el empleo en el sector (Bustos, Caprettini y Ponticelli, 2016). Otro ejemplo sería la mecanización del cultivo de caña de azúcar, que prácticamente ha eliminado los flujos migratorios en las regiones más pobres y ha generado oportunidades de empleo para trabajadores especializados en el país (Moraes, Oliveira y Díaz-Chavez, 2015). Por otra parte, hay ejemplos en los que la adopción de tecnología va en detrimento de la industria local, como en el caso del desarrollo de una tecnología que incrementó el área cultivada de maíz, lo que se tradujo en un aumento de la mano de obra agrícola y en una contracción del empleo industrial (Bustos, Caprettini y Ponticelli, 2016).

La especialización tecnológica en sectores concretos, como la agricultura en el caso del Brasil, se debe a la adaptación de las tecnologías oportunas a los insumos disponibles en la economía local. Antonelli (2016) argumenta que los países atrasados desde un punto de vista tecnológico adaptan los recursos tecnológicos de los países avanzados, lo cual reduce la coherencia tecnológica y la productividad total de los factores. Las políticas industriales en los países en desarrollo deben favorecer cambios estructurales que refuercen el suministro de los principales factores de producción de la región, junto con una política de capacitación que apoye la creación de destrezas y capacidades para el capital humano de la región, generando así un desarrollo social y económico.

III. Metodología

1. Base de datos

Para evaluar la transformación de la complejidad económica en desarrollo humano en 2013, tomamos datos de 50 países disponibles en la base de datos del Banco Mundial². Esta base de datos cubre cuatro dimensiones principales del desarrollo humano: educación, salud, saneamiento y empleo. También seleccionamos dos variables que representarían la complejidad económica: las exportaciones de productos de alta tecnología y el gasto en I+D.

Los insumos en que se basa este estudio son las exportaciones de productos de alta tecnología como proporción del PIB (EPAT/PIB) y el gasto en I+D (G-I+D) como indicador de la complejidad económica. De acuerdo con la literatura sobre el tema, un país debe exportar productos de alto valor agregado para beneficiarse de la ventaja comparativa y la competitividad internacional, mientras que la I+D resulta esencial porque permite la aparición de nuevos productos y sectores (Chen, Chen y He, 2014; Waelbroeck, 2003; Caminati, 2006; Amsden y Tschang, 2003). Nuestros resultados son: i) esperanza de vida al nacer (EVN), ii) promedio de años de escolarización (PAE), iii) tasa de saneamiento (TS) y iv) tasa de empleo (TE). En el cuadro 1 se resumen las variables seleccionadas.

Cuadro 1
Variables empleadas en el modelo de análisis envolvente de datos

Variable	Fuente	Tipo	Literatura
EPAT/PIB	Banco Mundial	Insumo	Chen, Chen y He (2014); Waelbroeck (2003); Caminati (2006); Amsden y Tschang (2003); Hartmann (2014); Hartmann y otros (2017)
G-I+D	Banco Mundial	Insumo	Chen, Chen y He (2014); Waelbroeck (2003); Caminati (2006); Amsden y Tschang (2003); Hartmann (2014); Hartmann y otros (2017)
EVN	Banco Mundial	Resultado	Despotis (2005a); Reig-Martínez (2013)
PAE	Banco Mundial	Resultado	Despotis (2005b); Mariano y Rebelatto (2014)
TE	Banco Mundial	Resultado	Morais y Camanho (2011); Reig-Martínez (2013)
TS	Banco Mundial	Resultado	Mariano y Rebelatto (2014); Reig-Martínez (2013)

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de A. H. Amsden y F. T. Tschang, "A new approach to assessing the technological complexity of different categories of R&D (with examples from Singapore)", *Research Policy*, vol. 32, N° 4, 2003; X. Chen, G. Chen e Y. He, "Trade on high-tech complex products", *Information Technology Journal*, vol. 13, N° 15, 2014; M. Caminati, "Knowledge growth, complexity and the returns to R&D", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 16, N° 3, 2006; D. K. Despotis, "A reassessment of the human development index via data envelopment analysis", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 56, N° 8, 2005a; D. K. Despotis, "Measuring human development via data envelopment analysis: the case of Asia and the Pacific", *Omega*, vol. 33, N° 5, 2005b; D. Hartmann, *Economic Complexity and Human Development: How Economic Diversification and Social Networks Affect Human Agency and Welfare*, Londres, Routledge, Taylor & Francis Group, 2014; D. Hartmann y otros, "Linking economic complexity, institutions, and income inequality", *World Development*, vol. 93, 2017; E. B. Mariano y D. A. D. N. Rebelatto, "Transformation of wealth produced into quality of life: analysis of the social efficiency of nation-states with the DEA's triple index approach", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 65, N° 11, 2014; P. Morais y A. S. Camanho, "Evaluation of performance of European cities with the aim to promote quality of life improvements", *Omega*, 39, N° 4, 2011; E. Reig-Martínez, "Social and economic wellbeing in Europe and the Mediterranean Basin: building an enlarged human development indicator", *Social Indicators Research*, vol. 111, N° 2, 2013; P. Waelbroeck, "Innovations, production complexity and the optimality of R&D", *Economics Letters*, vol. 79, N° 2, 2003.

Nota: EPAT/PIB: exportaciones de productos de alta tecnología como proporción del PIB; G-I+D: gasto en investigación y desarrollo; EVN: esperanza de vida al nacer; PAE: promedio de años de escolarización; TE: tasa de empleo; TS: tasa de saneamiento.

Puesto que nuestro análisis mide la eficiencia de la complejidad económica para traducirse en desarrollo humano, solo analizamos insumos de complejidad económica. No analizaremos el gasto público, a pesar de ser relevante, porque produciría un tipo diferente de clasificación de eficiencia. En estudios futuros pueden emplearse modelos DEA para comparar la eficiencia del gasto social en las distintas regiones.

² Los países analizados se enumeran en el cuadro 3.

Tras la recopilación de los datos, se procedió a analizar las variables por medio de una matriz de correlación y una regresión lineal. Se llevó a cabo la validación econométrica para después estimar los modelos DEA estándar (RCE y RVE), el modelo de medición basada en holguras (SBM) y la frontera invertida. Los modelos están orientados a resultados, partiendo de la base de que cada país tratará de maximizar los resultados (el desarrollo humano) sin reducir los insumos (la complejidad económica).

2. Validación econométrica

El análisis envolvente de datos (DEA) es una técnica no paramétrica que precisa validación econométrica para probar causalidad (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978; Cook y Zhu, 2014; Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015). Por esta razón, validamos nuestros datos con ocho modelos econométricos de datos de panel de efectos fijos (entre 2010 y 2013). Aunque varios estudios han utilizado el DEA para medir el desarrollo humano sin presentar una validación estadística (Murias, Martínez y De Miguel, 2006; Somarriba y Pena, 2009; Martín y Mendoza, 2013; Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015), en este estudio se emplean modelos econométricos para mostrar la correlación entre al menos un insumo y un resultado. Esto va en la línea de enfoques de DEA anteriores, como el utilizado en Mariano y Rebelatto (2014), quienes emplean una matriz de correlación para validar insumos y resultados. La validación llevada a cabo en el presente estudio muestra que la mayoría de las variables son estadísticamente significativas, lo cual prueba el impacto de la complejidad económica sobre el desarrollo humano y valida, a su vez, el procedimiento por DEA. Las estimaciones se presentan en el anexo A1.

La matriz de correlación entre insumos y resultados muestra que todas las variables sociales presentan una correlación estadísticamente significativa, a excepción del promedio de años de escolarización y la tasa de empleo. Todas las variables presentan el signo esperado. El gasto en I+D muestra una mayor correlación con la esperanza de vida (16,71%), seguida de la tasa de saneamiento (12,12%). Esto quiere decir que un mayor gasto en I+D incrementa la esperanza de vida, así como el acceso a saneamiento básico, educación y empleo. Las exportaciones de productos de alta tecnología como proporción del PIB (EPAT/PIB) muestran una correlación positiva y estadísticamente significativa con todas las variables sociales. La esperanza de vida (23,94%) es la variable social que presenta una mayor correlación, seguida de la tasa de empleo (22,11%), la tasa de saneamiento (15,87%) y el promedio de años de escolarización (12,41%). En otras palabras, un país que exporta productos tecnológicos incrementa el desarrollo humano a través de la educación, el saneamiento básico, el empleo y la esperanza de vida.

Por lo que respecta al promedio de años de escolarización, el modelo econométrico 5 muestra que la variable gasto en I+D (G-I+D) es estadísticamente significativa al 5% y presenta el signo esperado (positivo). Cabe mencionar que el gasto en I+D (0,0114%) explica más años de estudio que el PIB (0,0084%). Este resultado muestra que la inversión en innovación tiene un impacto del 0,0114% sobre el promedio de años de escolarización.

En cuanto a la esperanza de vida, el modelo econométrico 1 muestra que la variable G-I+D es estadísticamente significativa al 1%. También explica más la variación en la esperanza de vida (0,0113%) que la población económicamente activa (0,0041%). Además, la variable EPAT/PIB solo muestra el signo esperado en el modelo 6.

En relación con la tasa de saneamiento, el modelo 3 prueba que la variable G-I+D tiene un impacto positivo y estadísticamente significativo sobre el saneamiento (0,0047%). Por lo que respecta a la tasa de empleo, tanto G-I+D como EPAT/PIB muestran un impacto positivo. Además, EPAT/PIB presenta un impacto sobre la tasa de empleo del 0,010% en el modelo 3.

En resumen, el análisis econométrico muestra que los insumos seleccionados para el presente estudio están correlacionados con las variables sociales (resultados) y que esta correlación es estadísticamente significativa, lo cual confirma los supuestos teóricos previamente analizados (Hidalgo y Hausmann, 2009; Hartmann, 2014; Hausmann y otros, 2014; Hartmann y otros, 2017; Antonelli, 2016).

3. Análisis envolvente de datos

El análisis envolvente de datos (DEA) se basa en la programación lineal desarrollada por Charnes, Cooper y Rhodes (1978). El método presenta diferentes tipos de modelos y asunciones, como i) rendimientos a escala, ii) orientación y iii) combinaciones de insumos y resultados. Según Mariano y Rebelatto (2014), el tipo de rendimientos a escala diferencia los dos principales modelos de DEA: rendimientos constantes a escala (RCE) y rendimientos variables a escala (RVE). El cuadro 1 muestra la formulación de los modelos RCE y RVE en sus dos orientaciones posibles. El cuadro 2 muestra la formulación matemática del modelo RVE en sus dos orientaciones.

Cuadro 2

Principales modelos de análisis envolvente de datos radial en forma de multiplicadores

Modelo	Orientación a insumos	Orientación a resultados
Rendimientos constantes a escala (RCE)	$MAX \sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{i0}$	$MIN \sum_{i=1}^n v_j \cdot x_{j0}$
	sujeto a: $\sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{j0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, h$	sujeto a: $\sum_{j=1}^m u_i \cdot y_{i0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, h$
Rendimientos variables a escala (RVE)	$MAX \sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{i0} + w$	$MIN \sum_{i=1}^n v_i \cdot x_{j0} - w$
	sujeto a: $\sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{j0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} + w \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, h$	sujeto a: $\sum_{j=1}^m u_i \cdot y_{i0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} + w \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, h$

Fuente: E. B. Mariano y D. A. D. N. Rebelatto, "Transformation of wealth produced into quality of life: analysis of the social efficiency of nation-states with the DEA's triple index approach", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 65, N° 11, 2014.

Nota: x_{jk} representa la cantidad de insumo j de la unidad de toma de decisiones (UD) k ; y_{ik} representa la cantidad de resultado i de la UD k ; x_{j0} representa la cantidad de insumo j de la UD objeto de análisis; y_{i0} representa la cantidad de resultado i de la UD objeto de análisis; v_j representa el peso del insumo j para la UD objeto de análisis; u_i representa el peso del resultado i para la UD objeto de análisis; θ representa la eficiencia de la UD objeto de análisis; λ_k es la contribución de la UD k al objetivo de la UD objeto de análisis; m es la cantidad de resultados analizados; n es la cantidad de insumos analizados; y w representa el factor de escala (sin restricción de signo).

La hipótesis del modelo RCE da por sentado que los resultados varían de manera proporcional a los insumos en todas las regiones de la frontera (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978). Sin embargo, este modelo no tiene en cuenta los beneficios de escala de un sistema, lo cual supone una limitación (Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015). Por su parte, el modelo RVE da por sentado que los resultados no varían necesariamente de manera proporcional a los insumos, de modo que la frontera presenta tres regiones: creciente, donde los resultados crecen más que los insumos; constante, donde existe proporcionalidad, y decreciente, en la que los resultados crecen menos que los insumos (Banker, Charnes y Cooper, 1984).

Tone (2001) desarrolló un modelo no radial denominado modelo de medición basada en holguras (SBM). Este modelo aditivo es invariable por lo que respecta a las unidades de medida usadas para insumos y resultados (Cooper, Seiford y Tone, 2006) y logra el mismo valor de eficiencia con independencia de las unidades de medida adoptadas para cada variable al tratar con variables que representan un exceso de insumos y una escasez de resultados. El modelo SBM proyecta las observaciones al punto más alejado de la frontera de eficiencia para minimizar así la función objetiva en relación con los valores de distancia máximos (Choi, Zhang y Zhou, 2012). Sin embargo, el modelo SBM ha sido poco empleado en trabajos sobre desarrollo humano y eficiencia social.

El DEA ha sido utilizado en una serie de temas y ámbitos de investigación, tales como el sector energético (Schuschny, 2007), la gestión de la innovación (Aguilar-Barceló e Higuera-Cota, 2019), el factor de productividad total en puertos (Guerrero y Rivera, 2009), la eficiencia de la producción y el cambio técnico (Sotelsek y Abarca, 2010) y la reforma agraria (Sobreiro Filho y otros, 2016). También existen cada vez más estudios en los que se emplea el DEA para crear indicadores sociales y medir el desarrollo humano (Despotis, 2005a y 2005b; Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015).

Por ejemplo, el DEA se puede emplear para medir la eficiencia social y, de este modo, analizar la capacidad de un país para transformar la riqueza en desarrollo humano (Mariano, Sobreiro y do Nascimento Rebelatto, 2015). Despotis (2005a) fue pionero en calcular la eficiencia social de un país, para lo que usó el PIB per cápita como insumo y la educación y la esperanza de vida como resultados en el modelo DEA RVE. Morais y Camanho (2011) también midieron la eficiencia social de 284 ciudades europeas valiéndose del PIB per cápita como insumo y de 29 indicadores de calidad de vida como resultados. Mariano y Rebelatto (2014) desarrollaron la aplicación de métodos de restricción ponderada y de desempate en un análisis global. Reig-Martínez (2013) empleó un modelo DEA SBM para 42 países de Europa, Norte de África y Oriente Medio. Sin embargo, en Mariano y otros (2015), se señaló la existencia de una serie de lagunas que era preciso cubrir en este campo; por ejemplo, no había estudios que compararan la eficiencia medida entre modelos estándar y SBM. Tampoco fue posible encontrar modelos que trataran la complejidad económica como insumo generador de desarrollo humano o calidad de vida. Así pues, las principales contribuciones del presente artículo son: i) remediar la falta de estudios comparativos de los modelos DEA, ii) remediar la falta de estudios que miden la eficiencia en todo el mundo, iii) comparar complejidad económica y desarrollo humano y iv) remediar la falta de estudios que aplican la técnica de la frontera invertida.

4. Técnica de la frontera invertida

A la hora de clasificar las regiones mediante un DEA, muchas empatan en la misma posición; esto supone un problema, porque no aporta información útil a las personas responsables de la toma de decisiones. Para resolver esta situación, se desarrollaron técnicas de desempate como el método de la frontera invertida (FI) (Angulo-Meza y Lins, 2002). El método FI, propuesto originalmente por Yamada, Matui y Sugiyama (1994) y utilizado por Leta y otros (2005) como función de desempate, cambia la asignación de insumos y resultados en el modelo DEA para medir la eficiencia. Esta técnica ofrece dos resultados interesantes: i) un indicador de debilidad regional y ii) una frontera de malas prácticas.

En este trabajo, se utiliza el método FI de desempate para crear el índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica (ICDH-CE). Leta y otros (2005) recomendaron el uso de un índice compuesto; por ejemplo, la media entre el indicador obtenido en la frontera estándar ($E_{estandar}$) y el número 1 menos el indicador obtenido con el método FI ($E_{invertida}$), como se observa en la expresión (1).

$$ICDH - CE = \gamma * E_{estandar} + (1 - \gamma) * (1 - E_{invertida}), \text{ con } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (1)$$

El uso de un índice compuesto para las fronteras estándar e invertida implica que se pueden considerar dos situaciones para ambas: comparación de países por sus puntos más fuertes y comparación de países por sus puntos más débiles. Computamos un valor de 0,5 para γ a fin de agregar los resultados de la frontera estándar y la frontera invertida (véase la expresión (1)); es decir, utilizamos la media de los dos límites. Se tomó este valor porque es el de uso más común en la literatura y, por lo general, se considera un valor neutro. No obstante, otros valores de γ podrían ser incluso más apropiados para este problema. Resultaría coherente con el enfoque de las capacidades que la frontera invertida (que pone de relieve el peor desempeño) tuviera un peso más elevado que la frontera estándar (que pone de relieve los factores en que la región muestra un mejor desempeño). Esto se debe a que el enfoque de las capacidades hace mucho hincapié en establecer unos estándares mínimos, de modo que es más importante que la región no tenga un mal desempeño en algunas variables que el hecho de que su desempeño sea excelente solo en un número restringido de variables. No obstante, determinar el valor más apropiado de γ va más allá del objetivo del presente artículo y requeriría un mayor análisis teórico en profundidad.

IV. Resultados y análisis

Se utilizaron modelos estándar y modelos de medición basada en holguras (SBM) para comparar las diferencias en la eficiencia de los países a la hora de convertir la complejidad económica en desarrollo humano. En esta sección se presenta un análisis de las discrepancias encontradas entre los modelos DEA utilizados en este estudio, como el número de países eficientes y las estadísticas descriptivas (media, desviación típica y coeficiente de variación) para el mundo, para economías desarrolladas y en desarrollo y para naciones de ingreso alto y de ingreso bajo.

Los resultados obtenidos muestran que el modelo RCE estándar presenta un número menor de unidades de toma de decisiones (UD) eficientes (seis países). El modelo RCE SBM muestra el mismo número de UD eficientes (seis países). Las medias del modelo RCE (0,3594) y del modelo RCE SBM (0,3374) están próximas, al igual que sus desviaciones típicas (0,3537 para el modelo RCE y 0,3435 para el modelo RCE SBM). Como cabía esperar, también se obtuvieron coeficientes de variación similares para los modelos RCE (0,9842) y RCE SBM (1,0181). Esto quiere decir que no se hallaron divergencias significativas entre los modelos RCE estándar y SBM por lo que respecta a la transformación de la complejidad económica en desarrollo humano.

En el cuadro 3 se resumen la eficiencia de cada modelo, la eficiencia de escala y los rendimientos a escala de cada país.

Cuadro 3
Estimaciones de eficiencia de los modelos estándar y de medición basada en holguras

País	Modelos estándar						Modelos basados en holguras					
	RCE	RVE	RVE FI	ICDH-CE	Eficiencia de escala	Rendimiento	RCE SBM	RVE SBM	RVE SBM FI	ICDH-CE	Eficiencia de escala	Rendimiento
Alemania	0,0392	1,0000	0,8633	0,5684	0,0392	Decreciente	0,0387	0,9963	0,7199	0,6382	0,0388	Decreciente
Argentina	0,0841	0,9580	0,9094	0,5243	0,0878	Decreciente	0,0773	0,8977	0,7696	0,5641	0,0861	Decreciente
Armenia	1,0000	1,0000	0,9314	0,5343	1,0000	Constante	1,0000	1,0000	0,7975	0,6013	1,0000	Constante
Australia	0,1440	1,0000	0,8410	0,5795	0,1440	Decreciente	0,1384	1,0000	0,6783	0,6609	0,1384	Decreciente
Austria	0,3807	1,0000	0,8565	0,5718	0,3807	Decreciente	0,3572	0,9997	0,7250	0,6374	0,3573	Decreciente
Belarús	0,3520	0,9461	0,9686	0,4888	0,3721	Decreciente	0,3407	0,9066	0,8093	0,5487	0,3758	Decreciente
Bélgica	0,3301	1,0000	0,8889	0,5556	0,3301	Decreciente	0,3086	0,9999	0,7895	0,6052	0,3086	Decreciente
Bosnia y Herzegovina	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	1,0000	Constante	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	1,0000	Constante
Brasil	0,0173	0,9540	0,9212	0,5164	0,0181	Decreciente	0,0124	0,8346	0,7848	0,5249	0,0149	Decreciente
Bulgaria	0,9926	0,9926	0,9618	0,5154	1,0000	Constante	0,9272	0,9272	0,8632	0,5320	1,0000	Constante
Canadá	0,0903	1,0000	0,8437	0,5782	0,0903	Decreciente	0,0867	1,0000	0,6793	0,6604	0,0867	Decreciente
Chequia	0,3104	0,9910	0,8895	0,5508	0,3132	Decreciente	0,3006	0,9553	0,7389	0,6082	0,3147	Decreciente
Chile	0,1955	0,9900	0,8567	0,5667	0,1975	Decreciente	0,1783	0,9113	0,7403	0,5855	0,1957	Decreciente
China	0,0024	0,9787	1,0000	0,4894	0,0025	Decreciente	0,0017	0,8939	1,0000	0,4470	0,0019	Decreciente
Colombia	0,0728	0,9116	0,9282	0,4917	0,0799	Decreciente	0,0547	0,7776	0,8213	0,4782	0,0703	Decreciente
Costa Rica	0,7256	0,9887	0,8755	0,5566	0,7339	Decreciente	0,6284	0,8854	0,7763	0,5546	0,7097	Decreciente
Croacia	0,8567	1,0000	0,9451	0,5275	0,8567	Decreciente	0,7757	1,0000	0,8561	0,5720	0,7757	Decreciente
Dinamarca	0,5778	1,0000	0,8639	0,5681	0,5778	Decreciente	0,5687	1,0000	0,7096	0,6452	0,5687	Decreciente
Egipto	0,0530	0,9470	1,0000	0,4735	0,0560	Decreciente	0,0411	0,7372	1,0000	0,3686	0,0558	Decreciente
El Salvador	0,9536	0,9536	0,9463	0,5037	1,0000	Constante	0,8243	0,8243	0,8758	0,4743	1,0000	Constante
España	0,0708	1,0000	0,8936	0,5532	0,0708	Decreciente	0,0608	0,9998	0,8508	0,5745	0,0608	Decreciente
Estados Unidos	0,0105	1,0000	0,8971	0,5515	0,0105	Decreciente	0,0103	0,9724	0,7461	0,6132	0,0106	Decreciente
Etiopía	0,1432	1,0000	1,0000	0,5000	0,1432	Decreciente	0,0427	0,9999	1,0000	0,5000	0,0427	Decreciente
Federación de Rusia	0,0224	0,9593	0,9702	0,4946	0,0234	Decreciente	0,0189	0,8591	0,7998	0,5297	0,0220	Decreciente
Filipinas	0,0404	0,8999	0,9903	0,4548	0,0449	Decreciente	0,0320	0,8079	0,8330	0,4875	0,0396	Decreciente
Finlandia	0,6127	0,9972	0,8654	0,5659	0,6144	Decreciente	0,5624	0,9547	0,7583	0,5982	0,5891	Decreciente
Francia	0,0555	0,9946	0,8753	0,5597	0,0558	Decreciente	0,0511	0,9203	0,7826	0,5689	0,0555	Decreciente
Georgia	1,0000	1,0000	0,9275	0,5363	1,0000	Constante	1,0000	1,0000	0,7712	0,6144	1,0000	Constante
Grecia	0,4347	1,0000	0,9257	0,5372	0,4347	Decreciente	0,3655	1,0000	0,8788	0,5606	0,3655	Decreciente
Hungría	0,3676	0,9800	0,9383	0,5209	0,3751	Decreciente	0,3403	0,8852	0,8218	0,5317	0,3844	Decreciente
Indonesia	0,0148	0,9121	1,0000	0,4561	0,0162	Decreciente	0,0099	0,7364	1,0000	0,3682	0,0134	Decreciente
Irlanda	0,7608	1,0000	0,8834	0,5583	0,7608	Decreciente	0,7130	1,0000	0,7676	0,6162	0,7130	Decreciente
Israel	0,4620	1,0000	0,8449	0,5776	0,4620	Decreciente	0,4499	1,0000	0,6967	0,6517	0,4499	Decreciente
Italia	0,0647	0,9970	0,8989	0,5491	0,0649	Decreciente	0,0565	0,9377	0,8474	0,5452	0,0603	Decreciente
Japón	0,0260	1,0000	0,8880	0,5560	0,0260	Decreciente	0,0246	1,0000	0,8149	0,5926	0,0246	Decreciente
Lituania	1,0000	1,0000	0,9378	0,5311	1,0000	Constante	1,0000	1,0000	0,7753	0,6124	1,0000	Constante
México	0,0307	0,9293	0,9032	0,5131	0,0330	Decreciente	0,0256	0,8267	0,8006	0,5131	0,0310	Decreciente
Noruega	0,6655	1,0000	0,8418	0,5791	0,6655	Decreciente	0,6225	1,0000	0,6767	0,6617	0,6225	Decreciente
Países Bajos	0,1915	1,0000	0,8508	0,5746	0,1915	Decreciente	0,1814	1,0000	0,7016	0,6492	0,1814	Decreciente
Panamá	1,0000	1,0000	0,8906	0,5547	1,0000	Constante	1,0000	1,0000	0,7604	0,6198	1,0000	Constante
Polonia	0,0874	0,9815	0,9113	0,5351	0,0890	Decreciente	0,0839	0,9327	0,7856	0,5736	0,0900	Decreciente
Portugal	0,3053	1,0000	0,8819	0,5591	0,3053	Decreciente	0,2591	1,0000	0,8276	0,5862	0,2591	Decreciente
Reino Unido	0,0514	1,0000	0,8587	0,5707	0,0514	Decreciente	0,0507	1,0000	0,7119	0,6441	0,0507	Decreciente
República de Corea	0,0651	1,0000	1,0000	0,5000	0,0651	Decreciente	0,0627	0,9667	1,0000	0,4834	0,0649	Decreciente
Rumania	0,2385	0,9401	0,9445	0,4978	0,2537	Decreciente	0,2226	0,9096	0,8289	0,5404	0,2447	Decreciente
Singapur	0,6143	1,0000	0,8322	0,5839	0,6143	Decreciente	0,5282	1,0000	0,6660	0,6670	0,5282	Decreciente
Suecia	0,3316	0,9978	0,8469	0,5755	0,3323	Decreciente	0,3207	0,9806	0,7052	0,6377	0,3270	Decreciente
Türkiye	0,0553	0,9410	0,9558	0,4926	0,0588	Decreciente	0,0464	0,7890	0,9214	0,4338	0,0588	Decreciente
Ucrania	0,0696	0,9732	0,9655	0,5039	0,0715	Decreciente	0,0656	0,9258	0,7781	0,5739	0,0709	Decreciente
Uruguay	1,0000	1,0000	0,8913	0,5544	1,0000	Constante	1,0000	1,0000	0,7467	0,6267	1,0000	Constante

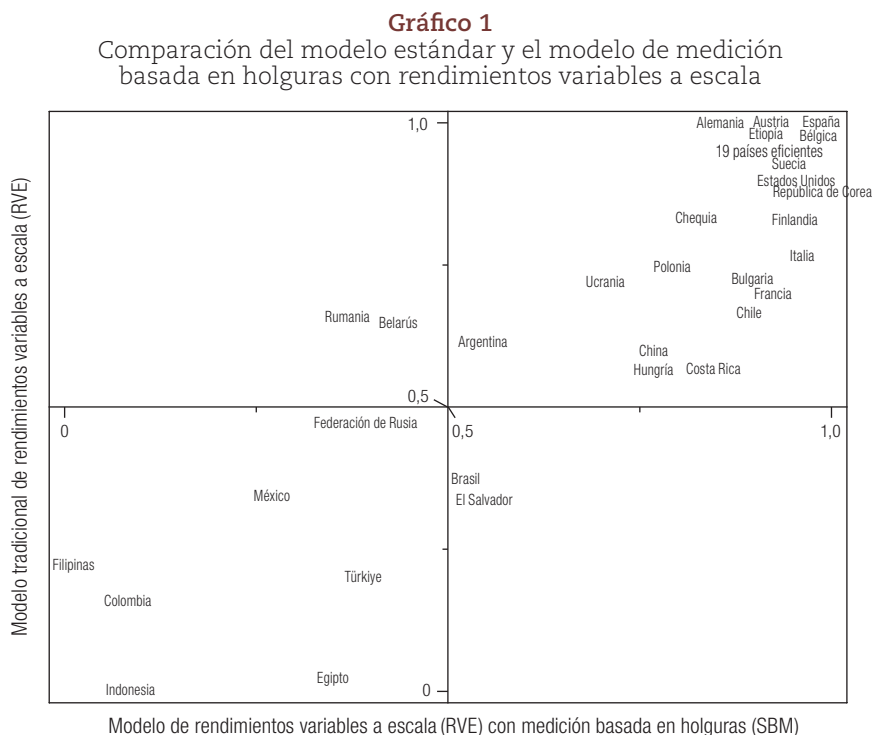
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Banco Mundial, "Human Capital Project", 2018 [en línea] <http://www.worldbank.org/en/publication/human-capital>.

Nota: RCE: rendimientos constantes a escala; RVE: rendimientos variables a escala; RVE FI: rendimientos variables a escala con frontera invertida; ICDH-CE: índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica; RCE SBM: rendimientos constantes a escala con medición basada en holguras; RVE SBM: rendimientos variables a escala con medición basada en holguras; RVE SBM FI: rendimientos variables a escala con medición basada en holguras y frontera invertida.

Los países eficientes en los modelos RCE y RCE SBM son Armenia, Bosnia y Herzegovina, Georgia, Lituania, Panamá y el Uruguay. Por lo que respecta a la eficiencia de escala, tanto el modelo estándar como el modelo con medición basada en holguras presentaron 42 países con rendimientos decrecientes a escala y ocho países con rendimientos constantes a escala. Los países con rendimientos constantes a escala son los seis países eficientes del modelo RCE, más Bulgaria y El Salvador. No obstante, los trabajos anteriores se han basado en modelos RVE.

El modelo RVE estándar muestra 26 países eficientes por lo que respecta a la conversión de complejidad económica en desarrollo humano. El modelo RVE SBM solo muestra 19 países eficientes. El cambio afecta a la discrepancia entre promedios. El promedio del modelo RVE (0,9823) es ligeramente superior al promedio del modelo RVE SBM (0,9390). La desviación típica en el caso del modelo RVE estándar (0,0509) es inferior a la del modelo RVE SBM (0,0770), lo cual indica que este último presenta una mayor variabilidad. Además, el coeficiente de variación del modelo RVE (0,0279) es inferior al del modelo RVE SBM (0,0820). Cabe mencionar que el modelo RVE SBM presenta un coeficiente de variación cuatro veces superior al del modelo estándar. Esto se debe a que Filipinas presenta la eficiencia más baja del modelo RVE (0,8322), mientras que Indonesia presenta la eficiencia más baja del modelo RVE SBM (0,7364).

Los siete países que resultaron eficientes con el modelo RVE estándar pero no con el modelo RVE SBM son Alemania, Austria, Bélgica, España, los Estados Unidos, Etiopía y la República de Corea. Se observa que, a excepción de Etiopía, todos son países desarrollados de elevados ingresos. Se trata de una conclusión importante para la medición de los indicadores de desarrollo humano mediante DEA. Según los resultados empíricos de este análisis, los modelos estándar tienden a sobrevalorar la eficiencia de algunas UD, en especial en el caso de países desarrollados de elevados ingresos. El gráfico 1 ilustra las discrepancias entre el modelo RVE estándar y el modelo RVE SBM.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Banco Mundial, "Human Capital Project", 2018 [en línea] <http://www.worldbank.org/en/publication/human-capital>.

Cuando se utiliza el modelo RVE estándar, los resultados son similares a los de Despotis (2005a y 2005b) y Reig-Martínez (2013), ya que muchos países considerados eficientes en la transformación de complejidad económica en desarrollo humano son también eficientes a la hora de convertir riqueza en desarrollo humano, como es el caso de Alemania, Austria, Bélgica, España y la República de Corea. Por otra parte, cuando se utiliza el modelo RVE SBM, los datos empíricos indican que estos países no pueden considerarse eficientes, lo que no concuerda con las conclusiones de estudios anteriores (Despotis, 2005a y 2005b; Reig-Martínez, 2013).

El número de unidades eficientes es elevado tanto con el modelo RVE estándar (52%) como con el modelo RVE SBM (38%). Los modelos con rendimientos variables a escala presentan numerosos empates, que se han resuelto con la técnica de la frontera invertida. En este sentido, se creó el índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica (ICDH-CE), cuya ventaja radica en que evita los empates, al considerar las mejores y peores prácticas de cada país en lo que respecta a la transformación de la complejidad económica en desarrollo humano. El ICDH-CE también permite a las personas encargadas de la elaboración de políticas formular las mejores políticas industriales para generar desarrollo humano (gasto en I+D y exportación de productos de alta tecnología).

El ICDH-CE ha aportado un resultado importante: tanto con el modelo RVE estándar como con el modelo SBM, Singapur es el único país eficiente de entre las 50 naciones que se analizaron. Se trata de un dato sorprendente, ya que los países de Europa y América del Norte (Alemania, Austria, Bélgica, España y los Estados Unidos) se colocan en las posiciones más altas. No obstante, este descubrimiento está respaldado por estudios anteriores sobre el desarrollo económico de Singapur (Gopinathan, 2007; Banco Mundial, 2018a y 2018b).

Tanto en la clasificación elaborada a partir del RVE estándar como en la elaborada con el RVE SBM, los países que ocupan los cinco primeros puestos son Singapur, Noruega, Israel, el Canadá y Australia. La elevada posición de Noruega corrobora las conclusiones de Reig-Martínez (2013). De acuerdo con este autor, los modelos SBM muestran que los países nórdicos convierten la riqueza en desarrollo humano de manera eficiente. Además, las conclusiones del presente estudio demuestran que no existe una agrupación de países eficientes en el indicador ICDH-CE, puesto que los países más eficientes se encuentran repartidos entre Europa, América del Norte y Asia. De acuerdo con los resultados empíricos obtenidos, además, la técnica de la frontera invertida evita las discrepancias en las clasificaciones de eficiencia entre los modelos estándar y el modelo SBM.

Los cinco últimos países en el modelo RVE estándar son Filipinas, Indonesia, Egipto, China y Belarús, mientras que los cinco últimos países en el modelo RVE SBM son Indonesia, Egipto, Türkiye, China y El Salvador. El modelo estándar sitúa a Belarús, un país europeo, entre los cinco últimos; el modelo RVE SBM, por su parte, coloca a Türkiye, un país eurasiático, entre los cinco últimos. Asimismo, aunque el modelo estándar coloca a Filipinas, un país asiático, entre los cinco últimos, el modelo RVE SBM incluye en estas posiciones a El Salvador, un país latinoamericano.

En el cuadro 4 se resumen las diferencias entre los indicadores calculados en el presente estudio. Se analizaron estas diferencias para los 50 países evaluados por tipo de economía (desarrollada frente a en desarrollo) y nivel de ingreso (ingreso alto e ingreso medio-alto frente a ingreso bajo e ingreso medio-bajo).

Cuadro 4
Comparación de regiones usando modelos estándar y modelos basados en holguras

Región	Estadística	Modelos estándar					Modelos basados en holguras				
		RCE	RVE	RVE FI	ICDH-CE	Eficiencia de escala	RCE SBM	RVE SBM	RVE SBM FI	ICDH-CE	Eficiencia de escala
Mundo	Media	0,3594	0,9823	0,9120	0,5351	0,3623	0,3374	0,9390	0,8038	0,5676	0,3492
	Mediana	0,2170	1,0000	0,9011	0,5431	0,2256	0,2020	0,9765	0,7852	0,5742	0,2202
	Desviación típica	0,3537	0,0274	0,0509	0,0345	0,3552	0,3435	0,0770	0,0920	0,0721	0,3518
	Coefficiente de variación	0,9842	0,0279	0,0558	0,0644	0,9804	1,0181	0,0820	0,1145	0,1269	1,0076
	Valor máximo	1,0000	1,0000	1,0000	0,5839	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,6670	1,0000
	Valor mínimo	0,0024	0,8999	0,8322	0,4548	0,0025	0,0017	0,7364	0,6660	0,3682	0,0019
	Países eficientes	6	26	6	1	-	6	19	6	1	-
Países desarrollados	Media	0,3710	0,9955	0,8850	0,5552	0,3724	0,3465	0,9797	0,7637	0,6080	0,3537
	Mediana	0,3301	1,0000	0,8834	0,5583	0,3301	0,3086	1,0000	0,7583	0,6124	0,3147
	Desviación típica	0,2948	0,0121	0,0369	0,0219	0,2951	0,2788	0,0328	0,0653	0,0421	0,2847
	Coefficiente de variación	0,7946	0,0121	0,0417	0,0395	0,7924	0,8046	0,0335	0,0855	0,0692	0,8048
	Valor máximo	1,0000	1,0000	0,9618	0,5839	1,0000	1,0000	1,0000	0,8788	0,6670	1,0000
	Valor mínimo	0,0105	0,9401	0,8322	0,4978	0,0105	0,0103	0,8852	0,6660	0,5317	0,0106
	Países eficientes	1	19	0	1	-	1	14	0	1	-
Países en desarrollo	Media	0,3458	0,9668	0,9438	0,5115	0,3504	0,3267	0,8913	0,8508	0,5203	0,3439
	Mediana	0,0728	0,9732	0,9463	0,5037	0,0799	0,0627	0,8977	0,8006	0,5249	0,0703
	Desviación típica	0,4119	0,0320	0,0464	0,0314	0,4144	0,4062	0,0861	0,0965	0,0711	0,4170
	Coefficiente de variación	1,1912	0,0331	0,0492	0,0614	1,1826	1,2435	0,0965	0,1134	0,1367	1,2128
	Valor máximo	1,0000	1,0000	1,0000	0,5667	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,6267	1,0000
	Valor mínimo	0,0024	0,8999	0,8567	0,4548	0,0025	0,0017	0,7364	0,7403	0,3682	0,0019
	Países eficientes	5	7	6	0	-	5	5	6	0	-
Países de ingreso alto e ingreso medio-alto	Media	0,4093	0,9607	0,9701	0,4953	0,4165	0,3770	0,8789	0,8820	0,4985	0,4028
	Mediana	0,1064	0,9634	0,9779	0,5018	0,1074	0,0542	0,8751	0,8544	0,4937	0,0633
	Desviación típica	0,4471	0,0372	0,0296	0,0296	0,4532	0,4404	0,1087	0,0965	0,0896	0,4628
	Coefficiente de variación	1,0922	0,0387	0,0305	0,0598	1,0883	1,1683	0,1237	0,1094	0,1798	1,1491
	Valor máximo	1,0000	1,0000	1,0000	0,5363	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,6144	1,0000
	Valor mínimo	0,0148	0,8999	0,9275	0,4548	0,0162	0,0099	0,7364	0,7712	0,3682	0,0134
	Países eficientes	2	3	3	1	-	2	2	3	1	-
Países de ingreso bajo e ingreso medio-bajo	Media	0,3499	0,9864	0,9010	0,5427	0,3520	0,3298	0,9505	0,7889	0,5808	0,3390
	Mediana	0,2719	1,0000	0,8910	0,5538	0,2795	0,2409	0,9885	0,7795	0,5859	0,2519
	Desviación típica	0,3322	0,0230	0,0463	0,0298	0,3322	0,3211	0,0631	0,0832	0,0597	0,3254
	Coefficiente de variación	0,9493	0,0233	0,0514	0,0549	0,9439	0,9737	0,0664	0,1055	0,1029	0,9601
	Valor máximo	1,0000	1,0000	1,0000	0,5839	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,6670	1,0000
	Valor mínimo	0,0024	0,9116	0,8322	0,4888	0,0025	0,0017	0,7776	0,6660	0,4338	0,0019
	Países eficientes	4	23	3	0	-	4	17	3	0	-

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Banco Mundial, "Human Capital Project", 2018 [en línea] <http://www.worldbank.org/en/publication/human-capital>.

Nota: RCE: rendimientos constantes a escala; RVE: rendimientos variables a escala; RVE FI: rendimientos variables a escala con frontera invertida; ICDH-CE: índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica; RCE SBM: rendimientos constantes a escala con medición basada en holguras; RVE SBM: rendimientos variables a escala con medición basada en holguras; RVE SBM FI: rendimientos variables a escala con medición basada en holguras y frontera invertida.

En el análisis por tipo de economía, se concluye que el modelo RVE estándar beneficia a los países desarrollados. Mientras que el modelo RVE SBM solo indicó 14 países eficientes, el modelo RVE estándar arrojó 19 países eficientes. Frente a esto, entre las economías en desarrollo, Etiopía fue el único país eficiente según el modelo RVE. Por su parte, el modelo RVE SBM no identificó a Etiopía como nación eficiente. El ICDH-CE se ajusta mejor tanto a los países desarrollados como a los países en desarrollo; solo identifica a Singapur como eficiente y evita los empates en la clasificación.

Por lo que respecta a los niveles de ingreso, las unidades eficientes identificadas por el modelo RVE estándar son principalmente economías de ingreso bajo y de ingreso medio-bajo (23 países), mientras que solo tres economías de ingreso alto y medio-alto resultaron ser eficientes. El modelo RVE SBM reduce esta discrepancia al concluir que solo existen dos economías eficientes de ingreso alto y medio-alto, y 17 economías eficientes de ingreso bajo y medio-bajo.

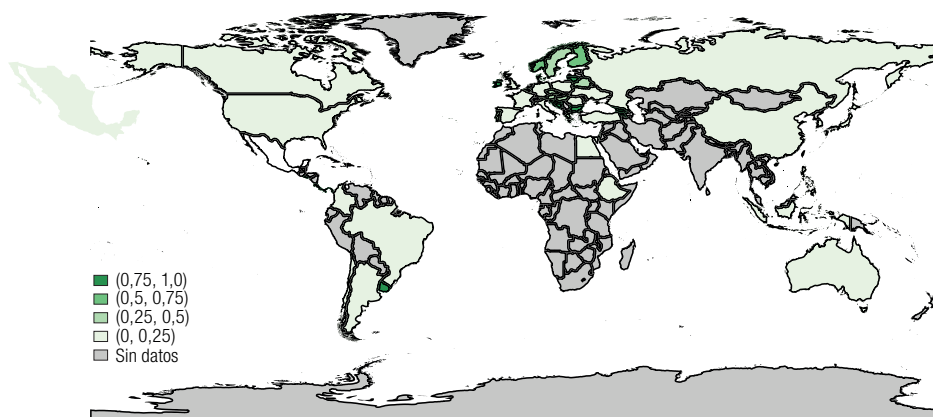
En resumen, se considera que el modelo RVE SBM es capaz de analizar mejor la eficiencia de los países al transformar la complejidad económica en desarrollo humano. No identifica como eficientes a algunos países desarrollados que sí lo son según los modelos estándar. Además, el método de desempate de la frontera invertida pudo demostrar un mejor ajuste entre los cinco países más eficientes. Por otra parte, la discrepancia de estos modelos se puede aplicar a la transformación de riqueza en desarrollo humano, lo cual aporta nuevas perspectivas a este problema.

En el mapa 1 se ilustra la eficiencia de los indicadores simples en los países del mundo cuando se emplean el modelo RCE estándar, el modelo RVE estándar, el modelo RCE SBM y el modelo RVE SBM. En el mapa 2 se ilustra la eficiencia de los indicadores compuestos (utilizando la técnica de la frontera invertida) en los países del mundo cuando se emplean el modelo RCE estándar, el ICDH-CE basado en el modelo RVE estándar, el modelo RCE SBM y el ICDH-CE basado en el modelo RVE SBM. Los países más eficientes aparecen con un sombreado más oscuro y los menos eficientes, con uno más claro.

Mapa 1

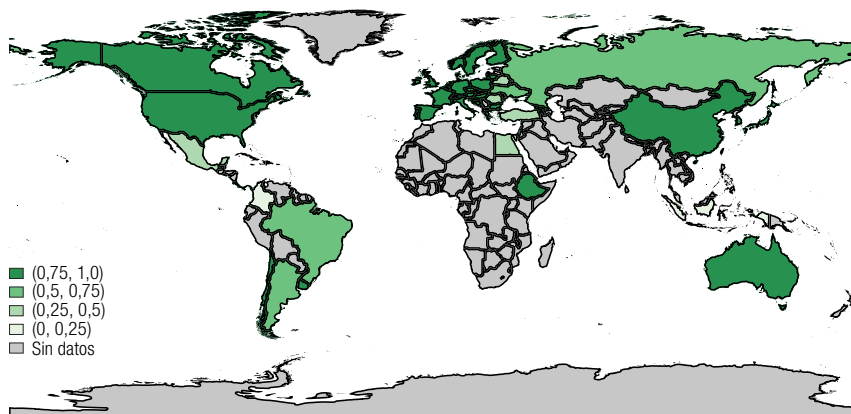
Eficiencia en la conversión de complejidad económica en desarrollo humano, medida con indicadores simples

A. Modelo RCE estándar

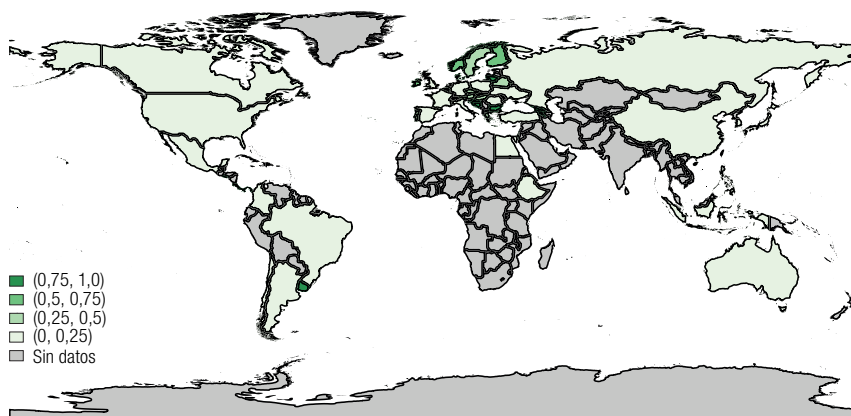


Mapa 1 (conclusión)

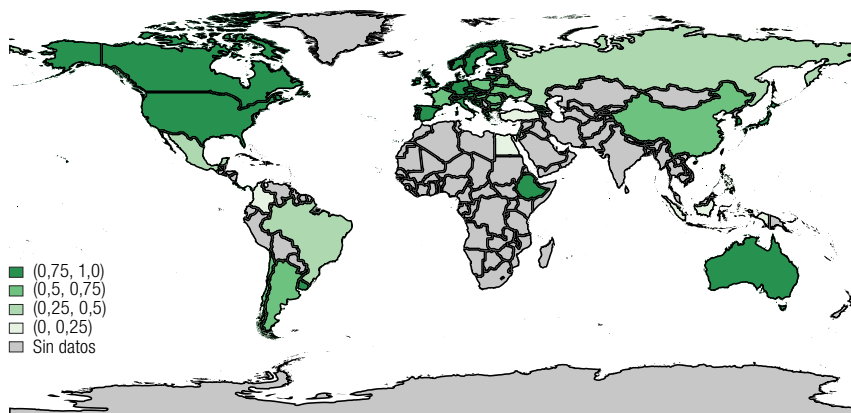
B. Modelo RVE estándar



C. Modelo RCE SBM



D. Modelo RVE SBM



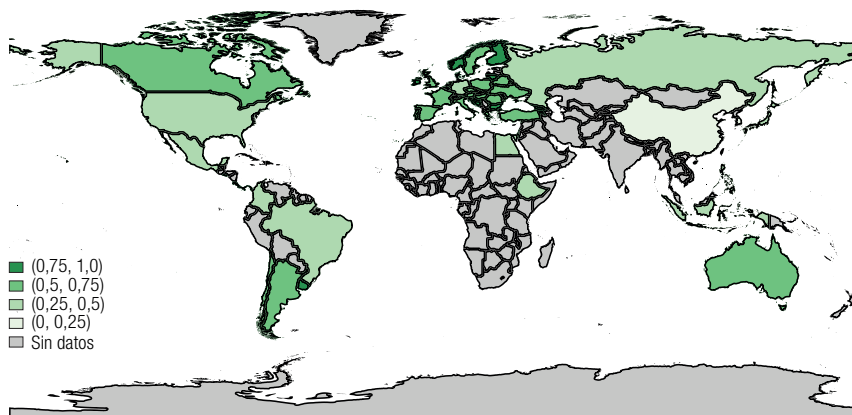
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Banco Mundial, "Human Capital Project", 2018 [en línea] <http://www.worldbank.org/en/publication/human-capital>.

Nota: RCE: rendimientos constantes a escala; RVE: rendimientos variables a escala; RCE SBM: rendimientos constantes a escala con medición basada en holguras; RVE SBM: rendimientos variables a escala con medición basada en holguras.

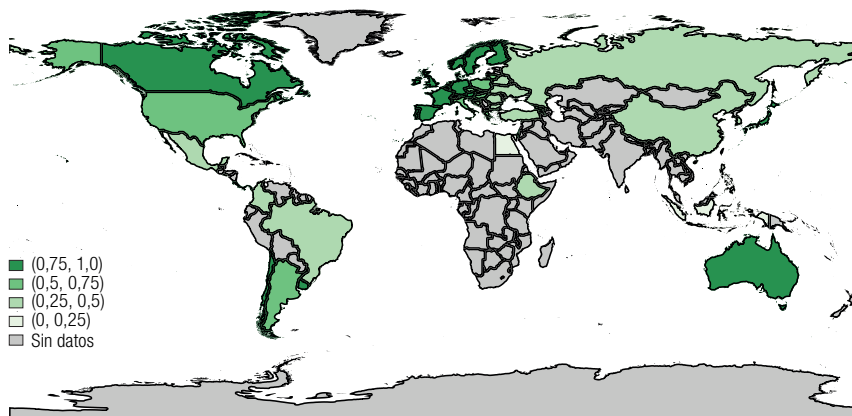
Mapa 2

Eficiencia en la conversión de complejidad económica en desarrollo humano, medida con indicadores compuestos (estándar y fronteras invertidas)

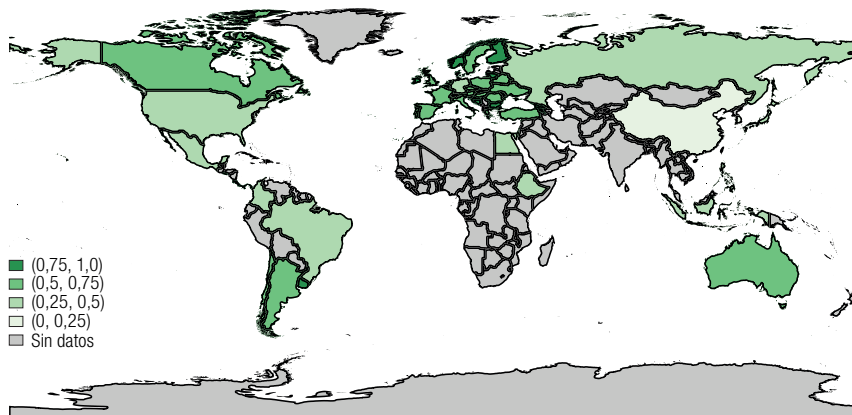
A. Modelo RCE estándar



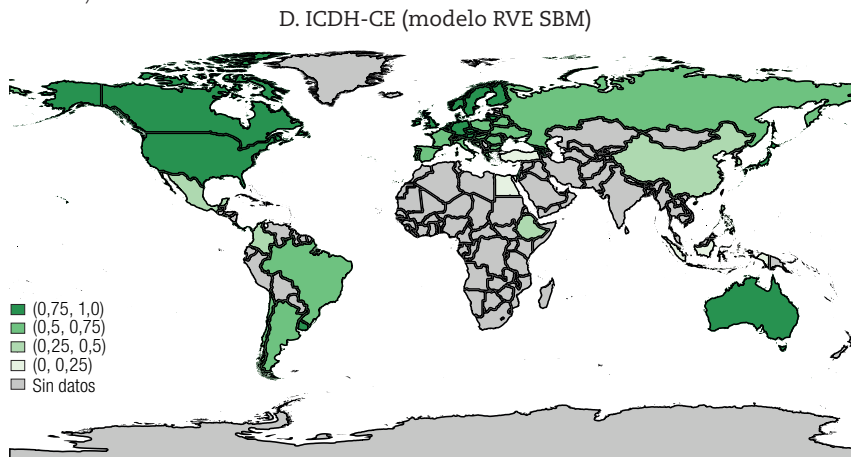
B. ICDH-CE (modelo RVE estándar)



C. Modelo RCE SBM



Mapa 2 (conclusión)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Banco Mundial, "Human Capital Project", 2018 [en línea] <http://www.worldbank.org/en/publication/human-capital>.

Nota: RCE: rendimientos constantes a escala; ICDH-CE: índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica; RVE: rendimientos variables a escala; RCE SBM: rendimientos constantes a escala con medición basada en holguras; RVE SBM: rendimientos variables a escala con medición basada en holguras.

V. Observaciones finales

El presente artículo contribuye a comparar las diferencias entre modelos estándar y modelos con medición basada en holguras en cuanto que indicadores de desarrollo humano. También considera la complejidad económica como una nueva variable en la medición de la eficiencia de los países a la hora de generar desarrollo humano, puesto que la sofisticación económica es una perspectiva alternativa desde la cual se puede analizar el desarrollo económico.

Se concluye que los modelos estándar tienden a sobrevalorar el número de países eficientes, sobre todo en el caso de naciones prósperas y desarrolladas. En comparación, el modelo con medición basada en holguras es más adecuado para medir el desarrollo humano en todo el mundo, puesto que proporciona un número menor de países eficientes y presenta una media y una desviación típica mejores que los modelos estándar.

La técnica de la frontera invertida también aporta una mejor comprensión del problema objeto de análisis. Haciendo uso de esta técnica de desempate se halló que, de los 50 países estudiados, solo Singapur era eficiente a la hora de convertir complejidad económica en desarrollo humano. Además, la técnica de la frontera invertida clasifica a los mismos cinco países como los más eficientes, lo que indica una mayor sinergia entre el modelo estándar (RVE FI) y el modelo basado en holguras (RVE SBM FI). Mediante la frontera invertida, se concluyó que los países norteamericanos, europeos y asiáticos tienen las mejores prácticas del mundo.

Este estudio tiene algunas limitaciones, como la falta de indicadores para la desigualdad de ingresos (índice de Gini) y para el entorno democrático. Si bien estas variables resultan esenciales en el enfoque de Amartya Sen, no fue posible encontrar datos disponibles para los 50 países. Además, se utilizaron modelos econométricos para mostrar la correlación entre insumos y resultados. En futuros trabajos podrían desarrollarse modelos más avanzados y podría medirse el impacto de la complejidad económica en el desarrollo humano en todo el mundo. Otra carencia del presente estudio es que no evalúa la eficiencia a lo largo del tiempo, algo que resulta vital para determinar el modo en que las naciones pueden (o no) haber evolucionado a lo largo de las últimas décadas.

A pesar de las limitaciones descritas, este trabajo pone de relieve la necesidad de emplear modelos diferentes de análisis envolvente de datos para medir indicadores sociales. Los modelos basados en holguras pueden proporcionar nuevas clasificaciones e identificar otros países eficientes, lo que afecta al modo en que comprendemos el enfoque del desarrollo humano.

Por último, el índice compuesto de desarrollo humano y complejidad económica (ICDH-CE) arroja luz sobre el enfoque de la complejidad económica y su relación con el desarrollo humano. Estas conclusiones resultan esenciales para la elaboración de indicadores sociales nuevos y mejorados y para justificar la necesidad de políticas sociales e industriales complementarias que mejoren las capacidades humanas. Además, el indicador ICDH-CE puede proporcionar información simple y agregada a las personas responsables de la formulación de políticas, en especial en las economías en desarrollo.

Bibliografía

- Agosin, M. R. (2009), "Crecimiento y diversificación de exportaciones en economías emergentes", *Revista CEPAL*, N° 97 (LC/G.2400-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), abril.
- Aguilar-Barceló, J. G. y F. Higuera-Cota (2019), "Los retos en la gestión de la innovación para América Latina y el Caribe: un análisis de eficiencia", *Revista CEPAL*, N° 127 (LC/PUB.2019/6-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), abril.
- Amsden, A. H. y F. T. Tschang (2003), "A new approach to assessing the technological complexity of different categories of R&D (with examples from Singapore)", *Research Policy*, vol. 32, N° 4.
- Angulo-Meza, L. y M. P. E. Lins (2002), "Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis", *Annals of Operations Research*, vol. 116.
- Antonelli, C. (2016), "Technological congruence and the economic complexity of technological change", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 38.
- Banco Mundial (2018a), "Human Capital Project" [en línea] <http://www.worldbank.org/en/publication/human-capital>.
- (2018b), "World Development Indicators" [en línea] <https://databank.worldbank.org>.
- Banker, R. D., A. Charnes y W. W. Cooper (1984), "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management Science*, vol. 30, N° 9.
- Barbier, E. B. y J. S. Bugas (2014), "Structural change, marginal land and economic development in Latin America and the Caribbean", *Latin American Economic Review*, vol. 23, N° 1.
- Bustos, P., B. Caprettini y J. Ponticelli (2016), "Agricultural productivity and structural transformation: Evidence from Brazil", *American Economic Review*, vol. 106, N° 6.
- Caminati, M. (2006), "Knowledge growth, complexity and the returns to R&D", *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 16, N° 3.
- Charnes, A. (1978), "Measuring efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, vol. 2.
- Charnes, A. y otros (1985), "Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions", *Journal of Econometrics*, vol. 30, N° 1-2.
- Chen, X., G. Chen e Y. He (2014), "Trade on high-tech complex products", *Information Technology Journal*, vol. 13, N° 15.
- Choi, Y., N. Zhang y P. Zhou (2012), "Efficiency and abatement costs of energy-related CO2 emissions in China: A slacks-based efficiency measure", *Applied Energy*, vol. 98.
- Cook, W. D. y J. Zhu (eds.) (2014), *Data Envelopment Analysis: A Handbook of Modeling Internal Structure and Network*, Springer.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford y K. Tone (2006), *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references*, Springer Science & Business Media.
- Despotis, D. K. (2005a), "A reassessment of the human development index via data envelopment analysis", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 56, N° 8.
- (2005b), "Measuring human development via data envelopment analysis: the case of Asia and the Pacific", *Omega*, vol. 33, N° 5.

- Esteban-Pretel, J. y Y. Sawada (2014), "On the role of policy interventions in structural change and economic development: The case of Japan's postwar", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 40.
- Ferrarini, B. y P. Scaramozzino (2016), "Production complexity, adaptability and economic growth", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 37.
- Furtado, C. (1959), *Formação Econômica do Brasil*, Río de Janeiro, Fondo de Cultura.
- Gala, P. (2017), *Complexidade Econômica: uma nova perspectiva para entender a antiga questão da Riqueza das Nações*, Río de Janeiro, Contraponto.
- Gala, P., J. Camargo y E. Freitas (2017), "The Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) was right: scale-free complex networks and core-periphery patterns in world trade", *Cambridge Journal of Economics*, vol. 42, N° 3.
- Gopinathan, S. (2007), "Globalisation, the Singapore developmental state and education policy: A thesis revisited", *Globalisation, Societies and Education*, vol. 5, N° 1.
- Greene, W. (2011), *Econometric Analysis, 7th Edition*, Prentice Hall.
- Guerrero, C. y T. Rivera (2009), "México: cambio en la productividad total de los principales puertos de contenedores", *Revista CEPAL*, N° 99 (LC/G.2418-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Guevara, M. R. y otros (2016), "The research space: using career paths to predict the evolution of the research output of individuals, institutions, and nations", *Scientometrics*, vol. 109, N° 3.
- Hartmann, D. (2014), *Economic Complexity and Human Development: How Economic Diversification and Social Networks Affect Human Agency and Welfare*, Londres, Routledge, Taylor & Francis Group.
- Hartmann, D. y otros (2017), "Linking economic complexity, institutions, and income inequality", *World Development*, vol. 93.
- Hausmann, R. y otros (2014), *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*, Mit Press.
- Hidalgo, C. A. y R. Hausmann (2009), "The building blocks of economic complexity", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, N° 26.
- Hidalgo, C. A. y otros (2007), "The product space conditions the development of nations", *Science*, vol. 317, N° 5837.
- FMI (Fondo Monetario Internacional) (2017), *Fostering Inclusive Growth: G-20 Leaders' Summit, July 7-8, 2017. Hamburg, Germany*, 15 de septiembre [en línea] <https://www.imf.org/external/np/g20/pdf/2017/062617.pdf>.
- Kruss, G. y otros (2015), "Higher education and economic development: The importance of building technological capabilities", *International Journal of Educational Development*, vol. 43.
- Lee, J. W. (2017), "China's economic growth and convergence", *The World Economy*, vol. 40, N° 11.
- Leta, F. R. y otros (2005), "Métodos de mejora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos", *Investigação Operacional*, 25, N° 2.
- López, R., V. Thomas y Y. Wang (2008), *The Quality of Growth: Fiscal Policies for Better Results, IEG Working Paper*, N° 2008/6, Washington, D.C., Banco Mundial.
- Mariano, E. B. y D. A. D. N. Rebelatto (2014), "Transformation of wealth produced into quality of life: analysis of the social efficiency of nation-states with the DEA's triple index approach", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 65, N° 11.
- Mariano, E. B., V. A. Sobreiro y D. A. do Nascimento Rebelatto (2015), "Human development and data envelopment analysis: A structured literature review", *Omega*, vol. 54.
- Martín, J. C. y C. Mendoza (2013), "A DEA approach to measure the quality-of-life in the municipalities of the Canary Islands", *Social Indicators Research*, vol. 113, N° 1.
- Moraes, M. A. F. D., F. C. R. Oliveira y R. A. Diaz-Chavez (2015), "Socio-economic impacts of Brazilian sugarcane industry", *Environmental Development*, vol. 16.
- Morais, P. y A. S. Camanho (2011), "Evaluation of performance of European cities with the aim to promote quality of life improvements", *Omega*, 39, N° 4.
- Morales, H. F. y D. A. do Nascimento Rebelatto (2016), "The effects and time lags of R&D spillovers in Brazil", *Technology in Society*, vol. 47.
- Murias, P., F. Martínez y C. De Miguel (2006), "An economic wellbeing index for the Spanish provinces: A data envelopment analysis approach", *Social Indicators Research*, vol. 77, N° 3.
- Mustafa, G., M. Rizov y D. Kernohan (2017), "Growth, human development, and trade: The Asian experience", *Economic Modelling*, vol. 61.
- Nkurunziza, J. D., K. Tswou y S. Cazzaniga (2017), "Commodity dependence and human development", *African Development Review*, vol. 29, N° S1.

- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2016), *Human Development Report 2016*, Nueva York, Oxford University Press.
- (2000), *Human Development Report 2000*, Nueva York, Oxford University Press.
- Prebisch, R. (1962), “The economic development of Latin America and its principal problems”, *Economic Bulletin for Latin America*, Santiago.
- Reig-Martínez, E. (2013), “Social and economic wellbeing in Europe and the Mediterranean Basin: building an enlarged human development indicator”, *Social Indicators Research*, vol. 111, N° 2.
- Sachs, I. (2004), *Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado*, Río de Janeiro, Garamond.
- Saviotti, P. P. y A. Pyka (2013), “From necessities to imaginary worlds: Structural change, product quality and economic development”, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, N° 8.
- (2004), “Economic development by the creation of new sectors”, *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 14, N° 1.
- Saviotti, P. P., A. Pyka y B. Jun (2016), “Education, structural change and economic development”, *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 38.
- Schumpeter, J. A. (1982), *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, Cambridge, Harvard University Press.
- Schuschny, A. R. (2007), “El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe”, *serie Estudios Estadísticos y Prospectivos*, N° 46 (LC/L.2657-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Sen, A. (2001), *Development as Freedom*, Oxford Paperbacks.
- (1998), “Mortality as an indicator of economic success and failure”, *The Economic Journal*, vol. 108, N° 446.
- Sobreiro Filho, J. y otros (2016), “Beyond the agrarian reform policies in Brazil: an empirical study of Brazilian States from 1995 through 2011”, *Social Indicators Research*, vol. 129, N° 3.
- Somarriba, N. y B. Pena (2009), “Synthetic indicators of quality of life in Europe”, *Social Indicators Research*, vol. 94, N° 1.
- Sotelsek, D. y L. Abarca (2010), “América Latina: medición de la eficiencia productiva y el cambio técnico incorporando factores ambientales”, *Revista CEPAL*, N° 101 (LC/G.2455-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Somarriba, N. y B. Pena (2009), “Synthetic indicators of quality of life in Europe”, *Social Indicators Research*, vol. 94, N° 1.
- Tacchella, A. y otros (2013), “Economic complexity: conceptual grounding of a new metrics for global competitiveness”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 37, N° 8.
- Tone, K. (2001), “A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis”, *European Journal of Operational Research*, vol. 130, N° 3.
- Waelbroeck, P. (2003), “Innovations, production complexity and the optimality of R&D”, *Economics Letters*, vol. 79, N° 2.
- Yamada, Y., T. Matui y M. Sugiyama (1994), “New analysis of efficiency based on DEA”, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, vol. 37, N° 2.
- Zhou, P., B. W. Ang y D. Q. Zhou (2010), “Weighting and aggregation in composite indicator construction: A multiplicative optimization approach”, *Social Indicators Research*, vol. 96, N° 1.

Anexo A1

Empleando datos de los años 2010 a 2013, medimos una matriz de correlación y regresiones lineales entre los insumos y cada uno de los resultados. Aplicamos entonces funciones de Cobb-Douglas adaptadas al problema objeto de estudio (véase la expresión 2).

$$\log y_{it}^{variable\ social} = \beta_0 + \beta_1 \log FBCF + \beta_2 \log EAP + \beta_3 \log PIB + \beta_4 \log EPAT + \beta_5 \log I + D + \varepsilon \quad (2)$$

Donde $y_{it}^{variable\ social}$ es una de las variables de calidad de vida; β_0 es el intercepto; $\beta_1 \log FBCF$ es el logaritmo de formación bruta de capital fijo; $\beta_2 \log EAP$ es el logaritmo de la población económicamente activa; $\beta_3 \log PIB$ es el logaritmo del producto interno bruto; $\beta_4 \log EPAT$ es el logaritmo de las exportaciones de productos de alta tecnología, y $\beta_5 \log I + D$ es el logaritmo del gasto en I+D. Se propone una regresión log-log, ya que es posible interpretar los parámetros como elasticidades (Greene, 2011). En el cuadro A1.1 se presentan las estimaciones de la matriz de correlación.

Cuadro A1.1
Matriz de correlación entre insumos y resultados

Variable	PAE	EVN	TS	TE	EPAT/PIB	G-I+D
PAE	1					
EVN	0,3506*	1				
TS	0,4924*	0,5773*	1			
TE	0,0958	0,0342	-0,2224*	1		
EPAT/PIB	0,1241***	0,2394*	0,1587**	0,2211*	1	
G-I+D	0,1085	0,1671**	0,1212***	0,0998	0,1094	1

Fuente: Elaboración propia.

Nota: PAE: promedio de años de escolarización; EVN: esperanza de vida al nacer; TS: tasa de saneamiento; TE: tasa de empleo; EPAT/PIB: exportaciones de productos de alta tecnología como proporción del producto interno bruto; G-I+D: gasto en investigación y desarrollo.

* significativo al 1%; ** significativo al 5%; *** significativo al 10%.

Se estimaron ocho modelos econométricos para analizar qué variables explicaban mejor la variabilidad de cada variable social analizada. Además de verificar la significación estadística de los parámetros y del R^2 ajustado, se empleó un análisis comparativo de criterio de información de Akaike (AIC) y el criterio de información bayesiano (BIC) para seleccionar el mejor modelo (Greene, 2011). En el cuadro A1.2 se resumen los resultados a los que se llegó en múltiples regresiones lineales.

Por lo que respecta al promedio de años de escolarización, el modelo econométrico 5 fue el que proporcionó el R^2 ajustado más elevado (18,56%) y el BIC más bajo (-1.672,5160), lo que indica que es el más idóneo de los modelos analizados. En relación con la esperanza de vida, el modelo 1 es el que tiene más capacidad de explicación, con un R^2 ajustado (48,65) y un BIC (-1.994,7540) superiores a los obtenidos en otros modelos. Para la tasa de saneamiento, el modelo 4 fue el más sólido, ya que presentó el R^2 ajustado más elevado (26,35%) y un BIC estadístico igual a -1.974,3780. Todas las estimaciones se pueden encontrar en el cuadro A1.2.

Cuadro A1.2
Coeficientes, valores *p* y R² de los resultados respecto de los insumos

Variable	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
Promedio de años de escolarización								
EAP	0,1390*	0,1351*	0,1410*	0,1543*	0,1339*	0,1755*	0,1405*	0,1450*
PIB	0,0172	0,0089	-	0,0192***	0,0084	-	-	-
FBCF	-0,0065	-	0,0020	-	-	0,0061	0,0019	-
EPAT/PIB	0,0023	0,0023	0,0008	0,0121	-	0,0121	-	0,0001
G-I+D	0,0102***	0,0110**	0,0127**	-	0,0114**	-	0,0128*	0,0130*
Constante	-0,0221	-0,0363	-0,0712	-0,1416	-0,0269	-0,2720	-0,0675	-0,0792
R ² ajustado	0,1875	0,1858	0,1829	0,1652	0,1856	0,1496	0,1829	0,1825
AIC	-1 682,1770	-1 683,7590	-1 683,0560	-1 680,7660	-1 685,7090	-1 677,0710	-1 685,0500	-1 684,9510
BIC	-1 662,3870	-1 667,2670	-1 666,5640	-1 667,5730	-1 672,5160	-1 663,8770	-1 671,8570	-1 671,7570
Prueba F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Esperanza de vida al nacer								
EAP	0,0041	-0,0042	0,0090	0,0187	-0,0010	0,0572*	0,0145	0,0238
PIB	0,0432*	0,0253*	-	0,0376*	0,0266*	-	-	-
FBCF	-0,0140*	-	0,0073**	-	-	0,0131*	0,0085*	-
EPAT/PIB	-0,0062	-0,0061	-0,0099	0,0055	-	0,0059	-	-0,0124
G-I+D	0,0113*	0,0131*	0,0177*	-	0,0120*	-	0,0161*	0,0190*
Constante	1,7509*	1,7206	1,6278*	1,5948*	1,6963*	1,3476*	1,5812*	1,5982*
R ² ajustado	0,4865	0,4603	0,3907	0,3627	0,4558	0,1750	0,3783	0,3712
AIC	-2 014,5440	-2 006,6110	-1 982,3210	-1 975,3470	-2 006,9360	-1 923,7130	-1 980,2960	-1 978,0240
BIC	-1 994,7540	-1 990,1200	-1 965,8290	-1 962,1540	-1 993,7420	-1 910,5200	-1 967,1030	-1 964,8310
Prueba F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tasa de saneamiento								
EAP	0,0527*	0,0532*	0,0548*	0,0564*	0,0561*	0,0674*	0,0587*	0,0749*
PIB	0,0185**	0,0196*	-	0,0213*	0,0208*	-	-	-
FBCF	0,0008	-	0,0100*	-	-	0,0115*	0,0108*	-
EPAT/PIB	-0,0055	-0,0055	-0,0071	-0,0039	-	-0,0030	-	-0,0104
G-I+D	0,0019	0,0018	0,0047***	-	0,0007	-	0,0035	0,0064*
Constante	1,5086*	1,5104*	1,4560*	1,4931*	1,4883*	1,3825*	1,4226	1,4156*
R ² ajustado	0,2659	0,2658	0,2444	0,2635	0,2611	0,2261	0,2365	0,2000
AIC	-1 984,2260	-1 986,1950	-1 980,4440	-1 987,5710	-1 986,9310	-1 977,6750	-1 980,3870	-1 971,0460
BIC	-1 964,4360	-1 969,7030	-1 963,9520	-1 974,3780	-1 973,7380	-1 964,4820	-1 967,1940	-1 957,8530
Prueba F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Tasa de empleo								
EAP	0,3395*	0,4191*	0,3288*	0,3980*	0,4022*	0,3041*	0,3058*	0,5048*
PIB	-0,0943*	0,0774*	-	0,0660*	0,0703*	-	-	-
FBCF	0,1340*	-	0,0874*	-	-	0,0845*	0,0826*	-
EPAT/PIB	0,0339	0,0323	0,0420***	0,0216	-	0,0338	-	0,0130
G-I+D	0,0048	-0,0121	-0,0091	-	-0,0059	-	-0,0022	0,0058
Constante	-1,7210*	-1,4307*	-1,4524*	-1,3144**	-1,3015**	-1,3086*	-1,2557**	-1,8058*
R ² ajustado	0,4160	0,2712	0,3884	0,2661	0,2634	0,3849	0,3750	0,2204
AIC	-1 428,1990	-1 385,8940	-1 420,9520	-1 386,5080	-1 385,7620	-1 421,8280	-1 418,6180	-1 374,4270
BIC	-1 408,4090	-1 369,4020	-1 404,4600	-1 373,3150	-1 372,5690	-1 408,6350	-1 405,4250	-1 361,2340
Prueba F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Observaciones	200							

Fuente: Elaboración propia.

Nota: EAP: población económicamente activa; PIB: producto interno bruto; FBCF: formación bruta de capital fijo; EPAT/PIB: exportaciones de productos de alta tecnología como proporción del producto interno bruto; G-I+D: gasto en investigación y desarrollo; AIC: criterio de información de Akaike; BIC: criterio de información bayesiano.

* significativo al 1%; ** significativo al 5%; *** significativo al 10%.