



Relación entre el PIB y algunos indicadores de Ciencia y Tecnología: Colombia vs. Corea del Sur¹

Relationship between GDP and some indicators of Science and Technology: Colombia vs. South Korea

Relation entre le PIB et certains indicateurs de la science et la technologie: la Colombie contre la Corée du Sud

Johnatan Castelblanco Gómez*
jmcastel@unal.edu.co

Jorge Robledo Velásquez**
jroble dov@unal.edu.co

*Estudiante del Doctorado en Ingeniería Industria y Organizaciones,
Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia

**Ph.D. en Estudios de Política y Gestión de Ciencia y Tecnología
Profesor Departamento de Ingeniería de la Organización,
Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia

Fecha de recepción: 15 de noviembre de 2014
Fecha de aceptación: 13 de diciembre de 2014

¹ Este texto presenta algunos avances de la investigación realizada en el marco del proyecto de Doctorado, y fue realizada en el año 2014 en el Grupo de Investigación en Innovación y Gestión Tecnológica de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Resumen

Se parte de la afirmación de que la innovación, como resultado de los procesos de I+D, es un factor clave y fundamental para el desarrollo económico de los países; se plantea entonces la pregunta de cuál es el peso y la relación específica de algunos indicadores de Ciencia y Tecnología con el crecimiento del PIB per cápita, como un indicador aproximado y simple del desarrollo económico. En este artículo se propone un modelo de regresión lineal múltiple que relaciona el PIB per cápita (USD constante de 2000) y las siguientes variables de ciencia y tecnología: número de investigadores en el área de investigación y desarrollo (por millón de personas), inversión en investigación y desarrollo (como porcentaje del PIB), número de patentes concedidas a residentes y, adicionalmente, la población total. El análisis de regresión se realiza para Colombia y Corea del Sur, y se comparan los dos modelos obtenidos, encontrando diferencias significativas en el peso de las variables entre cada país. Finalmente, se estima el crecimiento del PIB para el 2020, usando dichos modelos para cada país.

Palabras clave: modelos de regresión; PIB; I&D; patentes; estudios comparativos de países.

Abstract

Taking into account the assertion that, innovation (as a result of R&D processes) is critical to the development of countries, a question arises: ¿What is the relevance and the specific relation of some indicators of science and technology with per capita GDP growth as an approximate and simple indicator of economic development? This paper proposes a multi-linear regression model that relates per capita GDP (a 2000 USD base) and the following variables of science and technology: R&D researchers (per million people), investment in R&D (percentage of GDP), patents granted to residents, and the overall population. In the paper, a regression analysis is performed using data from Colombia and South Korea; the two models obtained are compared leading to significant differences in the variable weighting for each country. Finally, the GDP growth for the year 2020 is estimated using the regression models for each country.

Keywords: regression models; GDP; R&D; patents; country comparative studies.

Résumé



Tenant compte de l'affirmation selon laquelle, l'innovation (comme un résultat des processus de R & D) est essentielle pour le développement des pays, une question se pose: ¿Quelle est la pertinence et la relation spécifique de certains indicateurs de la science et de la technologie avec une croissance du PIB par habitant comme indicateur approximatif et simple du développement économique ? Cet article propose un modèle de régression linéaire multiple qui concerne le PIB par habitant (une base de 2000 USD) et les variables suivantes de la science et de la technologie : les chercheurs de R & D (par million d'habitants), l'investissement en R & D (en pourcentage du PIB), les brevets accordés aux résidents et la population en général. Dans le document, une analyse de régression est effectuée en utilisant des données de la Colombie et la Corée du Sud ; les deux modèles obtenus sont comparés et elles conduisent à des différences significatives dans la pondération variable pour chaque pays. Enfin, la croissance du PIB pour l'année 2020 est estimée en utilisant les modèles de régression pour chaque pays.

Mots-clés: modèles de régression ; PIB ; R & D ; brevets ; études comparatives de pays.

Para citar este artículo / To cite this article / Pour citer cet article:
Castelblanco, J. & Robledo, J. (2014). Relación entre el PIB y algunos indicadores de Ciencia y Tecnología: Colombia vs. Corea del Sur. *Escenarios: empresa y territorio*, 3, pp.

Introducción

En la actualidad es ampliamente aceptada la idea de que la innovación asociada a los procesos de I&D es fundamental para el crecimiento económico de los países; autores como Robledo (2013, p. 31), plantean que esta idea nace en Schumpeter (1883-1950), quien ubicaba al cambio tecnológico y la innovación en el centro de los procesos de transformación económica, dando inclusive a la innovación el papel del motor de desarrollo capitalista y la más importante, fuente de ganancias empresariales (Freeman & Soete, 1997, p. 18, en Robledo, 2013, p. 31).

Tal como sostiene Robledo, “[...] la tendencia actual es a reconocer, siguiendo a Schumpeter, el papel central del cambio tecnológico y la innovación como factores explicativos fundamentales de la dinámica de la economía capitalista” (Robledo, 2013, p. 33). Es así como se comienza a justificar que la competitividad de un país está en función de la capacidad de sus sectores para innovar científica y tecnológicamente (Porter, 1990; Ronde & Hussler, 2005; Fagerberg & Srholec, 2008; Rojas, et al. 2009, citados por Rojas & Fernández, 2012, p. 144).

Otros autores como Benavides y Forero (2002, p. 110) plantean que más que el mismo desarrollo, el crecimiento autosostenido es el resultado de avances en la tecnología, citando modelos como los de Romer (1987, 1990a), Grossman y Helpman (1991), Aghion y Howitt (1992, 1998) y Young (1991, 1992 y 1993). Se concluye, entonces, que el conocimiento tecnológico avanza como resultado de las actividades de investigación y desarrollo (I&D); sin embargo, en el trabajo de Benavides y Forero (2002, p.110) se plantea un modelo dual en el que, por ejemplo en Lucas (1988) considerando un nivel de tecnología fijo, es la acumulación de capital humano la que asegura el crecimiento a largo plazo; pero en Romer (1990a) se plantea que si el capital humano es constante, es el cambio tecnológico endógeno quien asegura el crecimiento sostenido.

Por otro lado, en el marco teórico neoclásico elaborado por Solow (1956) en la década de los cincuenta, se señala que, en competencia perfecta, el crecimiento del producto per cápita en el largo plazo termina agotándose a menos que haya cambios exógenos en el nivel de conocimiento tecnológico (Benavides & Forero, 2002, p. 109). De tal manera que si las economías sólo se diferencian en el capital per cápita, en el largo plazo presentarán una tendencia a la convergencia de la tasa de crecimiento y del nivel de ingreso per cápita. En contraste con los modelos de Solow y Cass-Koopmans, los desarrollos posteriores a 1986 coinciden en señalar que el crecimiento

sostenido del producto per cápita, en el largo plazo, puede ser un resultado de fuerzas endógenas dentro del mismo proceso de acumulación.

Tal como indica Acevedo (2007, p. 83), en los últimos 20 años el trabajo macroeconómico se ha centrado en los determinantes de largo plazo del crecimiento económico, como señala Barro (2001), pero aún no existe un consenso en cuanto a las causas del crecimiento y el desarrollo económico, y la investigación en esta área todavía está lejos de terminar. No obstante a lo anterior, en este trabajo se parte de la premisa de que la innovación, como resultado de los procesos de I&D, es fundamental para el desarrollo de los países, y la pregunta de investigación que se busca responder es, entonces: ¿cuál es el peso y la relación específica de algunos indicadores de ciencia y tecnología con el crecimiento del PIB per cápita, como un indicador aproximado y simple de desarrollo económico?

Para responder a esto, el aporte de este artículo resulta de explorar un modelo de regresión lineal múltiple que relacione el PIB per cápita (USD constante de 2000) y las siguientes variables de ciencia y tecnología: número de investigadores en el área de investigación y desarrollo (por millón de personas), inversión en investigación y desarrollo (como porcentaje del PIB), número de patentes concedidas a residentes y, adicionalmente, la población total. El análisis de regresión se realiza para Colombia y Corea del Sur, y se comparan los dos modelos obtenidos, encontrando diferencias significativas en el peso de las variables para cada país, lo cual muestra que si bien la relación puede ser directa, el nivel de impacto de las variables depende del desarrollo actual de la economía de cada país en particular y si las variables de ciencia y tecnología han sido consideradas estratégicas en los respectivos planes de desarrollo.

En este artículo se presenta el modelo de regresión propuesto de la siguiente manera: en la sección 1 se introducen los indicadores de Ciencia y Tecnología considerados en el modelo de regresión. En la sección 2 se comparan los indicadores entre Colombia y Corea del Sur.

A partir de los datos de las series de tiempo para cada indicador, en la sección 3 se determinan los modelos de regresión para cada país y se realiza un análisis comparativo. Al final se presentan las conclusiones.

1. El PIB per cápita y algunas variables de Ciencia y Tecnología

A continuación se presentan las variables consideradas en este estudio y se exponen los argumentos que justifican el uso de estas variables para

determinar su relación con el PIB per cápita, como un indicador de desarrollo económico.

PIB per cápita (USD constante de 2000)

El PIB per cápita es el producto dividido entre la población a mitad de año. El PIB es la suma del valor bruto añadido por todos los productores residentes en la economía, más los impuestos sobre los productos y menos los subsidios no incluidos en el valor de los productos. Se calcula sin efectuar deducciones por la amortización de activos fabricados, o el agotamiento y deterioro de los recursos naturales. Los datos considerados para el análisis de regresión figuran en dólares estadounidenses constantes.

Si bien para el análisis de regresión se utiliza el PIB per cápita como variable dependiente, es importante aclarar que el desarrollo económico es más que un agregado económico e implica diversas aspiraciones económicas, sociales y políticas; sin embargo, el PIB per cápita está bastante bien correlacionado con otros indicadores que pueden explicar el desarrollo económico de un país.

Solicitudes de patente - residentes

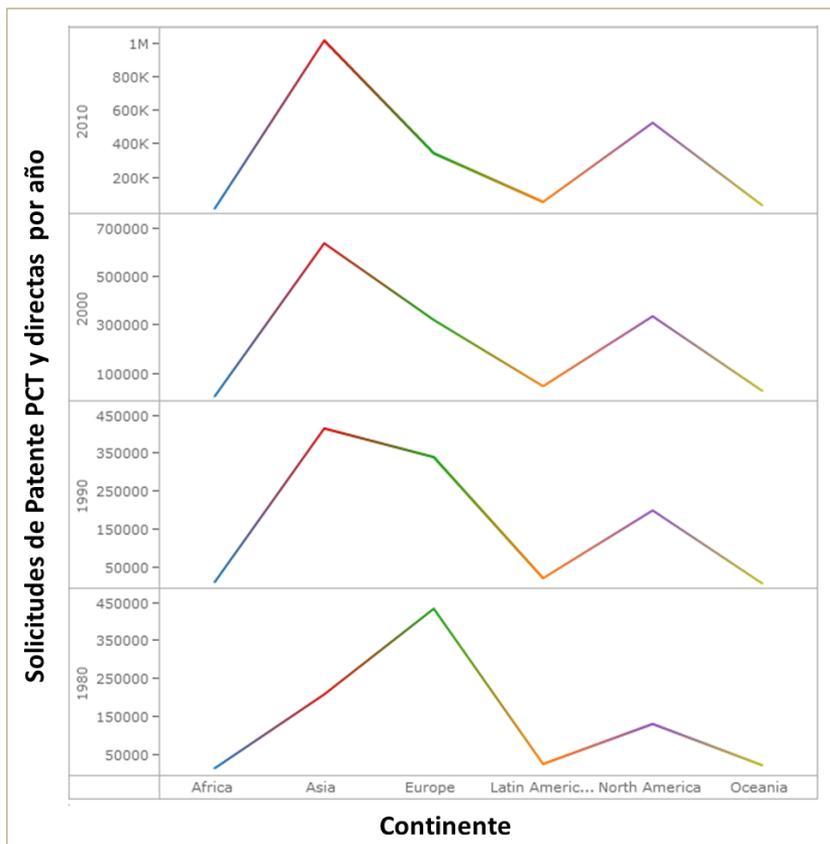
Esta variable se refiere a las solicitudes de patentes presentadas en todo el mundo a través del procedimiento del Tratado de Cooperación de Patentes o con una oficina de patentes nacional de derechos exclusivos para un invento (un producto o proceso que ofrece una nueva manera de hacer algo o proporciona una nueva solución técnica a un problema). Una patente proporciona protección para el invento y para el titular de la patente durante un periodo limitado, generalmente de 20 años.

Para valorar el resultado de los esfuerzos realizados en materia de I+D se puede recurrir, como aproximación, al número de patentes obtenidas. Esta es una variable ampliamente utilizada en la literatura, ya que representa la parte de I+D que se convierte en ideas susceptibles de ser comercializadas y, por lo tanto, patentables (Quindós, Vicente & Rubiera, 2005, p. 611). Es así como, ciertamente, existe una vinculación entre el nivel de tecnología con el que cuentan los países y la producción de patentes. De hecho, la mayor parte de las patentes de invención tienen lugar en el ámbito de naciones cuyas divisas se fundan notablemente en la exportación y transferencia de tecnología (Rodríguez, 2008, p. 103). En el Gráfico 1 se presentan las solicitudes de patentes vía PCT y directas para las últimas cuatro décadas y

se compara la evolución en el desarrollo tecnológico expresado en las patentes para África, Asia, Europa, Latinoamérica, Norte América y Oceanía.

Del Gráfico 1 se observa que en la década de 1980, las economías con mayor desarrollo tecnológico eran Europa, seguida de Asia y luego por Norte América, mientras que África, América Latina y Oceanía se ubicaban más o menos al mismo nivel de desarrollo tecnológico, muy por debajo de las tres primeras economías. En las siguientes dos décadas de 1990 y 2000 se observa un descenso en la producción de tecnologías por Europa y un repunte de Asia, convirtiéndose esta última en la economía líder, mientras que Norte América alcanza el nivel de desarrollo tecnológico de Europa. Ya en pleno siglo XXI, para el año 2010 se observa un crecimiento exponencial en el desarrollo tecnológico para Asia, pasando de alrededor de 600.000 solicitudes de patente a un millón en 10 años; mientras que Europa se mantiene en el orden de las 300.000 solicitudes y Norte América supera las 400.000. Para el caso de Latinoamérica, África y Oceanía, los datos son desalentadores en cierta medida, pues no se aprecia ningún movimiento significativo en las últimas cuatro décadas, permaneciendo en unos niveles de alrededor de 50.000 solicitudes, lo cual se podría explicar por los bajos niveles de inversión en I&D que han tenido estas últimas tres economías

Gráfico 1. Solicitud de patentes en las últimas cuatro décadas



Fuente: elaboración propia a partir de Centro de datos estadísticos de la OMPI (2014).

Se podría decir, entonces, que los países más tecnificados e inversores en I&D, son también los que más solicitudes de patentes tramitan y los que más patentes otorgan. Tal como afirma Rodríguez “[...] pareciera entonces que en este tema no se deja nada al azar, ya que los números apuntan a una relación directamente proporcional entre el avance tecnológico de un país, la cantidad de patentes que se solicitan (por nacionales y extranjeros) y conceden en este, y el nivel de competitividad que ostenta una nación en el contexto internacional” (2008, p. 99).

Para el caso de Latinoamérica, de acuerdo a Buitrago (2009, p. 82), la propiedad intelectual si bien puede dar una ventaja competitiva, esto ocurre sólo cuando se es el productor de la misma y, especialmente, cuando se crean las condiciones para que el recurso humano de un país haga del conocimiento el motor de su economía. En el trabajo de Mutter (2006, p. 87) también se

plantea que de acuerdo a algunos estudios de la *United Nations Conference on Trade and Development* (Unctad) y el *International Centre for Trade and Sustainable Development* (ICTSD), la protección de la propiedad industrial sólo beneficia a largo plazo a un país, siempre y cuando este haya alcanzado un determinado nivel de industrialización, pues si se está debajo de tal nivel, una protección excesiva de los derechos de PI por otros países, podría ser considerada incluso nociva para el desarrollo del país.

Lo anterior es sumamente importante para ser considerado, pues como plantea Buitrago (2009, p. 81), la adopción de medidas que permitan la transformación de los países que son en esencia meramente consumidores de tecnología e innovación en países productores, es imperiosa, pues de lo contrario la dependencia será mayor y la brecha entre países desarrollados y todos los demás será cada vez más grande.

Inversión en I&D como porcentaje del PIB

Esta variable se refiere a la inversión de capital (tanto público como privado) por trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para aumentar los conocimientos, incluidos los conocimientos sobre la humanidad, la cultura y la sociedad, y el uso de los conocimientos para aplicaciones nuevas. El área de investigación y desarrollo (I+D) abarca la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental.

Algunos autores como Guisán y Aguayo (2005, p. 638) plantean que la inversión en investigación, desarrollo e innovación, tiene en general importantes efectos positivos, tanto directos como indirectos, sobre el incremento de la renta real por habitante y en la tasa de empleo; en su trabajo citan estudios interesantes que respaldan tal afirmación, tales como los de Jaffee (1989), Glaeser y Shapiro (2002) para el caso de Norte América; Barrio y García-Quevedo (2003) para US, Alemania, Francia e Italia; el de Caruso y Palano (2005) para varias regiones de Europa y los estudios comparativos de numerosos territorios europeos en Guisan et al (1998 y 2001), Guisan (2004), Korres, Chionis y Staikouras (2004) y Martín, Mulas y Sanz (2004), entre otros.

En el trabajo de Buitrago (2009, p. 79) se afirma que, con poca inversión en I&D, el nivel de producción científica y tecnológica no es muy alentador. Algunos de los indicadores del mismo muestran un desempeño muy bajo y una dependencia bastante alta de la tecnología extranjera. Normalmente esto se ve reflejado en la balanza de pagos, que para el caso de los países

dependientes registrará egresos por la importación de tecnología o de innovación muy superiores a los ingresos por la producción de la misma.

Investigadores en el área de investigación y desarrollo

Esta variable se refiere a los profesionales que trabajan en la concepción o creación de nuevos conocimientos, productos, procesos, métodos o sistemas y en la gestión de los proyectos en cuestión. Se incluyen los estudiantes de doctorado que trabajan en el área de investigación y desarrollo.

Diversos estudios económicos han puesto de manifiesto el importante papel que la educación y el gasto en I+D, junto con otras variables, tienen en el desarrollo económico (Guisán & Aguayo, 2005, p. 638). Adicionalmente, en estudios como los de Acevedo (2007, p. 83) se citan trabajos como los de Lucas (1988) y Mankiw, Romer y Weil (1992), en los cuales se enfatiza la importancia del rol de la educación en el desarrollo económico de un país; sin embargo, en trabajos como los de Benavides y Forero (2002, p. 110) se plantea que la polaridad de estos modelos de crecimiento endógeno ha impedido determinar simultáneamente las decisiones de inversión en capital humano y tecnología, pues al enfocarse en un factor de crecimiento y dejar al margen el otro, no permiten optimizar la escogencia entre capital humano y tecnología.

De acuerdo a lo anterior, es claro que las economías requieren arbitrar recursos, en forma óptima, entre las actividades de educación e investigación para que, además de asegurar el crecimiento sostenido, se maximice el ritmo de crecimiento. Pero es importante tener presente, siguiendo a Buitrago (2009, p. 78), que para el caso de países con bajos niveles de industrialización, el recurso humano debe ser mejor aprovechado y valorado, pues en muchas ocasiones son los países desarrollados los que vienen a aprovechar el talento humano o, en general, la mano de obra procedente de países en desarrollo (y la inversión previa para lograrlo).

2. PIB e indicadores de Ciencia y Tecnología – Colombia vs. Corea del Sur

La perspectiva teórica tradicional de la economía del desarrollo, fundada sobre la premisa de la tecnología como factor exógeno de producción, ha sido incapaz de explicar las diferencias de crecimiento entre países y entre regiones (la convergencia y divergencia del desarrollo nacional y regional) (Freeman, 1995 en Robledo, 2013, p. 53).

En la misma línea, Robledo (2013, p. 53) argumenta:

Desde la economía evolucionista, la explicación se ha abordado con una perspectiva sistémica que pone la innovación, siguiendo a Schumpeter, como motor del desarrollo económico. Desde esta perspectiva, lo nacional es todavía altamente relevante, sin desconocer las dinámicas globalizantes y las cada vez más fuertes dinámicas regionales y locales que se desarrollan como contracara a la globalización.

Es así como en los últimos 30 años ciertos países asiáticos sorprendieron a la comunidad internacional por los vertiginosos ritmos de crecimientos en su producción industrial, por la reducción de los niveles de desempleo, una distribución relativamente equitativa del ingreso y una dinámica de inserción en el mercado mundial (Gómez, 2003, p.142).

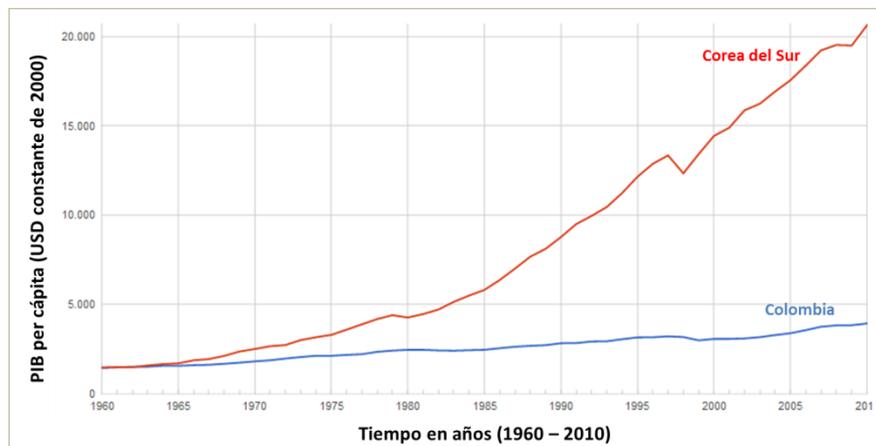
A continuación se presenta, entonces, una comparación entre el PIB per cápita y las variables de Ciencia y Tecnología consideradas en este estudio, tanto para Colombia como Corea del Sur.

Comparación del PIB per cápita

En la década de los sesenta del siglo XX, y al término de una cruenta guerra civil, Corea era un país del tercer mundo con unos niveles de riqueza por debajo de los de Colombia (Sánchez, Medina & León, 2007, p. 91). En esa época, la economía de Corea del Sur se caracterizaba por ofrecer mano de obra barata al servicio de la industria extranjera principalmente, en especial a Estados Unidos y Japón; sin embargo, en 1962, tomaron la decisión a través de un Plan de Desarrollo Económico por cinco años, de incluir la ciencia y la tecnología como una de sus principales herramientas para el desarrollo (Rubio, Tshipamba & Ramírez, 2013, p. 29). Resultado de esto, para el periodo de 1970-1995, la tasa de crecimiento promedio del PIB de Corea del Sur superó el 9% anual y el producto per cápita creció de 87 dólares en 1962 a 5,523 dólares en 1990. En ese lapso sus ventas externas se elevaron de 55 millones de dólares a 65.000 millones, duplicando así la tasa de crecimiento promedio de Japón (Gómez, 2003, p. 143).

En contraste con Colombia, el crecimiento del PIB per cápita no cambió significativamente y el PIB permaneció casi que en el mismo nivel, mientras que el de Corea del Sur crecía. En el Gráfico 2 se muestra la evolución en el tiempo del PIB per cápita para el periodo de 1960 – 2010, comparando a Colombia y Corea del Sur.

Gráfico 2. PIB per cápita - Colombia vs. Corea del Sur



Fuente: elaboración propia a partir de la Base de Datos de Estadísticas del Banco Mundial.

Aun cuando se podría decir que Colombia tenía mejores condiciones para su desarrollo en los años de 1960, comparado con Corea del Sur, la divergencia en el crecimiento del PIB per cápita entre los dos es evidente y considerable; en la gráfica se observa que para 1997, tanto Colombia como Corea sufrieron una caída en el PIB; esto se podría explicar por la crisis cambiaria de finales de 1997.

En el trabajo de Gómez (2003, p. 154) se afirma que el proceso de desarrollo de Corea del Sur se ha basado en la formulación y eficaz ejecución de políticas gubernamentales bien articuladas, combinadas con incentivos microeconómicos específicos con diversos niveles de selectividad basados en políticas comerciales, industriales y tecnológicas. Tal como sostienen Sánchez, Medina y León:

El éxito coreano debe adjudicarse a tres razones principales: 1) transferencia de tecnología foránea a través de mecanismos regulados; 2) el reclutamiento de recursos humanos extranjeros de alto calibre, y 3) un esfuerzo en investigación y desarrollo local grande y combinado por los sectores privado y oficial (el gobierno pasó de tener un centro de investigación científica a tener veinte). (2007, p. 92)

Es importante destacar que la existencia del Ministerio en Ciencia y Tecnología nos deja ver el nivel de importancia que el Estado Coreano decidió

darle a estas actividades desde 1970 (Rubio, Tshipamba & Ramírez, 2013, p. 22), mencionando además que Corea del Sur es el primer país en tener un organismo a nivel ministerial en ciencia y tecnología, lo que ya dejaba ver sus fuertes intenciones por mantenerse a la vanguardia en el aspecto tecnológico y científico, o bien una evidente necesidad de prosperar auxiliado de estas dos actividades, toda vez que su economía a finales de los años sesenta se sostenía claramente en una incipiente industria agrícola y de la mano de capital humano pobremente calificado en esta y otras áreas.

En contraste para Colombia, tal como plantea Mutter, “[...] un país sin conocimiento propio está condenado a depender de los demás en casi todos los aspectos” (2006, p. 86). Pues si bien es cierto que en este mundo globalizado la interdependencia entre las naciones es cada vez mayor, la forma como se plantean las relaciones depende directamente de lo que cada cual tenga para ofrecer. Esto es un punto fuerte a considerar para Colombia, ya que la era en la que una o dos materias primas (exceptuando al petróleo) sostenían a un país parece estar llegando a su fin.

Comparación solicitudes de patentes por residentes

En la década de los sesenta, Corea del Sur se caracterizaba por la “imitación”. Sin embargo, en 1961, se votó la Ley de Patentes, con el objetivo de fomentar, proteger y utilizar las invenciones, así como mejorar y desarrollar la tecnología, como un factor determinante para el desarrollo industrial (Rubio, Tshipamba & Ramírez, 2013, p. 31).

Para el caso de Colombia, desde el año 1960 hasta el año 2010 el número de solicitudes de patentes por residentes se ha mantenido en un promedio de alrededor de cien solicitudes al año, tal como se muestra en el Gráfico 3.

Gráfico 3. Solicitudes de patentes por residentes en Colombia



Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos de estadísticas del Banco Mundial.

Comparativamente, hasta el año de 1980 el número de solicitudes de patentes en Corea del Sur por residente, era igualmente baja pero aun así duplicaba a Colombia; sin embargo, a partir del año de 1985, se evidencia un punto de inflexión donde el número de solicitudes por residentes en Corea del Sur empieza a tener una tendencia de crecimiento exponencial, tal como se puede ver en el Gráfico 4.

Comparación inversión en I&D como porcentaje del PIB

Según A. Bartzokas (2007), la primera disposición legal en materia de desarrollo tecnológico en Corea del Sur fue la Ley de Promoción de Desarrollo Tecnológico de 1972 (Ley n° 2.399). Esta ley establecía los incentivos fiscales y financieros para fomentar la inversión en investigación y desarrollo por parte del sector privado productivo. También surgió la Ley de Promoción de Ingeniería en el Área de Servicios (Ley n° 2474, de 1973); su propósito fue fomentar la ingeniería industrial y, de esta manera, favorecer la manufactura y comercialización de los resultados de investigación y desarrollo (Bartzokas, 2007, en Rubio, Tshipamba & Ramírez, 2013, p. 32).

Gráfico 4. Solicitudes de patentes por residentes Colombia vs. Corea del Sur

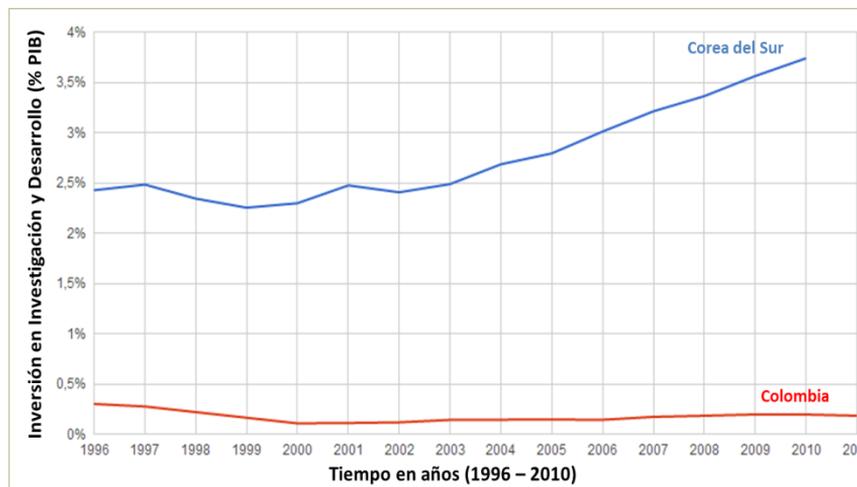


Fuente: elaboración propia a partir de la Base de Datos de Estadísticas del Banco Mundial.

Para el caso de Colombia, según lo que indica Sánchez, Medina y León (2007, p.254), la inversión en I&D para el año 2006 fue del 0,35% del PIB, del cual un 0,21% provenía de la inversión pública y un 0,14% de inversión privada.

En el Gráfico 5 se puede ver para el periodo de tiempo comprendido entre 1996 y 2010, que la inversión en I&D como porcentaje del PIB para Corea del Sur ha pasado de ser en 1996 aproximadamente 4,5 veces la inversión de Colombia, a aproximadamente 7 veces en el año 2010, debido a que mientras la inversión en Corea aumenta, en Colombia se ha mantenido relativamente constante pero por debajo de lo que se invertía en 1996.

**Gráfico 5. Inversión en I&D como porcentaje del PIB
Colombia vs. Corea del Sur**



Fuente: elaboración propia a partir de la Base de Datos de Estadísticas del Banco Mundial.

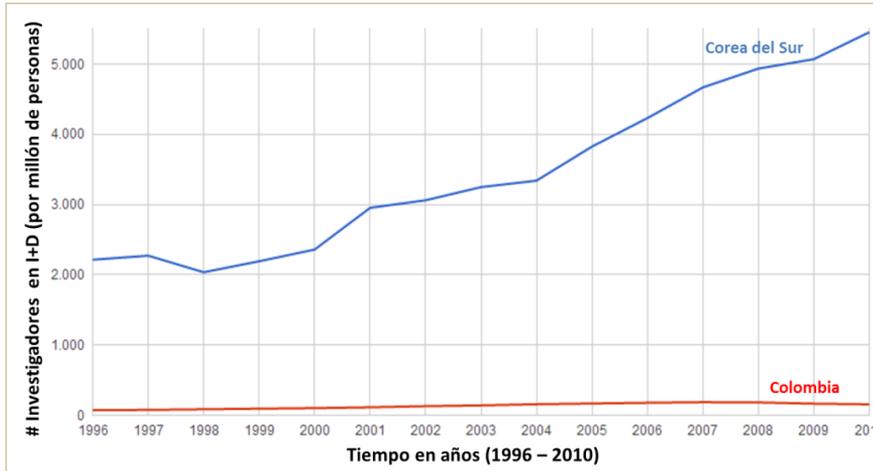
Número de investigadores por millón de habitantes

En el trabajo de Acevedo (2007, p. 104) se sugiere que el capital humano jugó un papel muy importante en el progreso económico de Corea del Sur en los últimos 25 años. Se plantea, incluso, que tuvo una contribución de 18.7% al crecimiento del PIB, y se ubica a la acumulación del capital humano como uno de los motores responsables de su desarrollo económico.

En el caso de Colombia, en el trabajo de Sánchez, Medina y León (2007, p. 254), se afirma que se evidencia un déficit en capital tecnológico y humano, especialmente en lo referente a la formación científico-técnica, pues tan sólo 36% de la población tiene educación básica, el 36% educación secundaria, el 7% nivel profesional universitario y el 1% tiene estudios de especialización, maestría o doctorado de acuerdo a las cifras del DANE para el año 2006.

En el Gráfico 6 se puede ver que para Colombia el número de investigadores en I+D por millón de habitantes se ha mantenido prácticamente constante desde 1996 al 2010, lo cual muestra que en el país no se han generado políticas que evidencien la importancia del recurso humano como motor de desarrollo económico.

**Gráfico 6. Número de investigadores por millón de personas
Colombia vs. Corea del Sur**



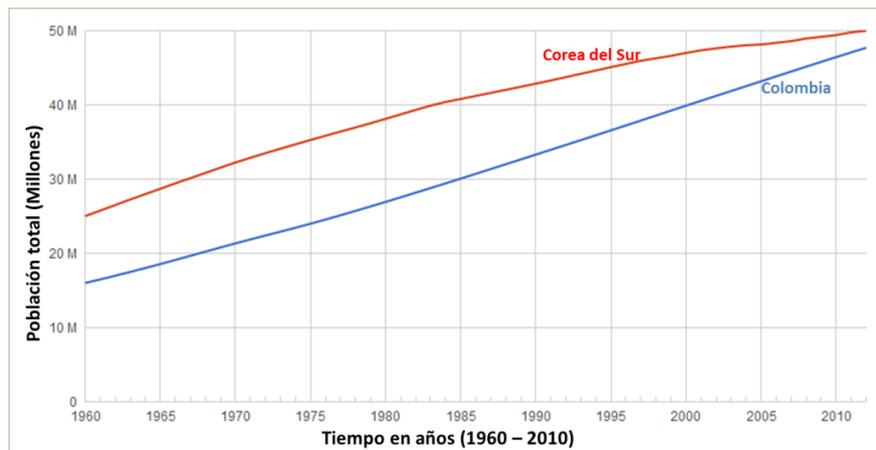
Fuente: elaboración propia a partir de la Base de Datos de Estadísticas del Banco Mundial.

Población total Colombia vs. Corea del Sur

Finalmente, en el Gráfico 7 se presentan los datos históricos acerca del número de habitantes en Colombia y Corea del Sur para el periodo de tiempo comprendido entre 1960 y 2010; se observa que en 1960 la población de Corea superaba la colombiana por alrededor de 10 millones de personas, y en los últimos años el número de habitantes en Colombia se acerca a la población coreana, específicamente en el año 2010 la diferencia fue de tan solo 3 millones.

Es importante tener presente la variable población total, pues sirve como un indicador aproximado del tamaño de las economías, y para el caso de la comparación entre Colombia y Corea del Sur, se podría decir que el tamaño es equivalente, mas no el desempeño y desarrollo económico de cada uno por separado.

Gráfico 7. Población total - Colombia vs. Corea del Sur



Fuente: elaboración propia a partir de la Base de Datos de Estadísticas del Banco Mundial.

3. Aplicación del modelo de regresión lineal múltiple

A partir de los datos históricos de las variables de ciencia y tecnología, el PIB per cápita y la población total para Colombia y Corea del Sur, se determinaron dos modelos de regresión lineal múltiple para cada país. En esta sección se expone brevemente en qué consisten estos tipos de modelos, se presentan los resultados obtenidos para cada país y se realiza un análisis comparativo entre ellos.

Análisis de regresión

En términos generales, el análisis de regresión es una técnica para investigar y modelar la relación entre variables. Específicamente en economía, trata sobre el estudio de la dependencia de un fenómeno económico respecto de una o varias variables explicativas, con el objetivo de explorar o cuantificar la media o valor promedio poblacional de la primera, a partir de un conjunto de valores conocidos o fijos de la o las segundas.

Mediante un modelo de regresión lineal múltiple (MRLM) se puede explicar el comportamiento de una determinada variable denominada variable a explicar, variable endógena o variable dependiente (representada con la letra Y) en función de un conjunto de k variables explicativas X_1, X_2, \dots, X_k mediante una relación de dependencia lineal (suponiendo $X_1 = 1$):

$$Y = \beta_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_k \cdot X_k + U$$

donde U es el término de perturbación o error.

Para determinar el modelo anterior, es necesario hallar (estimar) el valor de los coeficientes $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$. La linealidad en parámetros posibilita la interpretación correcta de los parámetros del modelo. Los parámetros miden la intensidad media de los efectos de las variables explicativas sobre la variable a explicar y se obtienen al tomar las derivadas parciales de la variable a explicar respecto a cada una de las variables explicativas:

$$\beta_j = \frac{\partial Y}{\partial X_j}; j = 1, \dots, k$$

El objetivo es asignar valores numéricos a los parámetros $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$. Es decir, estimar el modelo de manera que los valores ajustados de la variable endógena resulten tan próximos a los valores realmente observados como sea posible.

Modelo de regresión propuesto

Para determinar el modelo de regresión lineal múltiple entre el PIB per cápita y las siguientes variables: número de investigadores en el área de investigación y desarrollo (por millón de personas), inversión en investigación y desarrollo (como porcentaje del PIB), número de patentes concedidas a residentes y población total, se utilizó el software libre para minería de datos conocido como WEKA desarrollado por el “Machine Learning Group” de la Universidad de Waikato de Nueva Zelanda. Los datos de entrenamiento para la construcción del modelo de regresión se presentan en la Tabla 1.

En el Cuadro 1 se presenta un resumen del resultado obtenido en relación al modelo de regresión lineal múltiple, tanto para Colombia como para Corea del Sur.

Teniendo en cuenta que el PIB per cápita para Corea del Sur es un orden de magnitud mayor al de Colombia, se deben multiplicar los coeficientes del modelo por 10 para poder comparar la intensidad de los parámetros que miden la intensidad media de los efectos de las variables de ciencia y tecnología sobre el PIB. En relación a los coeficientes de correlación para ambos modelos, se encuentra que son suficientemente altos, lo cual indica un ajuste correcto del modelo de regresión.

Asumiendo que las cuatro variables siguen teniendo un crecimiento lineal en los próximos diez años, a partir de los modelos de regresión se puede estimar el PIB per cápita para el año 2020 para cada país; en el Cuadro 2 se presenta el resultado.

Tabla 1. Datos de entrenamiento para el modelo de regresión lineal múltiple (2000 – 2010)

Colombia				
CO (PIB Investigación)	CO (Investigadores)	CO (PIB per cápita)	CO (Patentes Concedidas Nal)	CO (Población)
0.11	100	3074	21	39
0.11	112	3074	13	41
0.12	127	3101	12	41
0.14	139	3172	5	42
0.14	155	3290	11	43
0.14	165	3392	7	43
0.14	176	3565	11	44
0.17	184	3755	20	44
0.18	181	3832	31	45
0.19	163	3840	0	46
0.19	154	3937	26	46

Corea del Sur				
KO (PIB Investigación)	KO (Investigadores)	KO (PIB per cápita)	KO (Patentes Concedidas Nal)	KO (Población)
2.30	2357	14428	22943	47
2.47	2951	14891	21833	47
2.40	3058	15867	30175	48
2.49	3246	16231	30525	48
2.68	3337	16917	35284	48
2.79	3823	17550	53419	48
3.01	4228	18370	89303	48
3.21	4665	19218	91645	49
3.36	4933	19519	61115	49
3.56	5067	19488	42129	49
3.74	5450	20624	51404	49

Fuente: elaboración propia a partir de la Base de Datos de Estadísticas del Banco Mundial y la OMPI.

Cuadro 1. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple

Colombia	Corea del Sur																								
<p>Linear Regression Model</p> <p>CO (PIB per cápita) =</p> $4863.0971 * CO (PIB Investigación) + 6.7687 * CO (Patentes Concedidas Nal) + 79.6497 * CO (Población) + -791.9523$ <p>Time taken to build model: 0 seconds</p> <p>=== Evaluation on training set ===</p> <p>=== Summary ===</p> <table border="0"> <tr> <td>Correlation coefficient</td> <td>0.9782</td> </tr> <tr> <td>Mean absolute error</td> <td>60.865</td> </tr> <tr> <td>Root mean squared error</td> <td>67.1822</td> </tr> <tr> <td>Relative absolute error</td> <td>20.3906 %</td> </tr> <tr> <td>Root relative squared error</td> <td>20.7632 %</td> </tr> <tr> <td>Total Number of Instances</td> <td>11</td> </tr> </table>	Correlation coefficient	0.9782	Mean absolute error	60.865	Root mean squared error	67.1822	Relative absolute error	20.3906 %	Root relative squared error	20.7632 %	Total Number of Instances	11	<p>Linear Regression Model</p> <p>KO (PIB per cápita) =</p> $1020.6139 * KO (PIB Investigación) + 0.9448 * KO (Investigadores) + 0.0102 * KO (Patentes Concedidas Nal) + 606.3367 * KO (Población) + -18823.4939$ <p>Time taken to build model: 0.01 seconds</p> <p>=== Evaluation on training set ===</p> <p>=== Summary ===</p> <table border="0"> <tr> <td>Correlation coefficient</td> <td>0.9935</td> </tr> <tr> <td>Mean absolute error</td> <td>190.0191</td> </tr> <tr> <td>Root mean squared error</td> <td>224.12</td> </tr> <tr> <td>Relative absolute error</td> <td>11.0653 %</td> </tr> <tr> <td>Root relative squared error</td> <td>11.4254 %</td> </tr> <tr> <td>Total Number of Instances</td> <td>11</td> </tr> </table>	Correlation coefficient	0.9935	Mean absolute error	190.0191	Root mean squared error	224.12	Relative absolute error	11.0653 %	Root relative squared error	11.4254 %	Total Number of Instances	11
Correlation coefficient	0.9782																								
Mean absolute error	60.865																								
Root mean squared error	67.1822																								
Relative absolute error	20.3906 %																								
Root relative squared error	20.7632 %																								
Total Number of Instances	11																								
Correlation coefficient	0.9935																								
Mean absolute error	190.0191																								
Root mean squared error	224.12																								
Relative absolute error	11.0653 %																								
Root relative squared error	11.4254 %																								
Total Number of Instances	11																								

Fuente: elaboración propia en el software de minería de datos WEKA.

Cuadro 2. Prospección a partir del Modelo regresión lineal múltiple obtenido

Colombia	Corea del Sur
<p>CO (PIB per cápita) =</p> $4863.0971 * CO (PIB Investigación) + 6.7687 * CO (Patentes Concedidas Nal) + 79.6497 * CO (Población) + -791.9523$ <p>PIB per cápita Colombia 2010: \$3,074 PIB per cápita Colombia 2020: \$4.931 Incremento: 60%</p>	<p>KO (PIB per cápita) =</p> $1020.6139 * KO (PIB Investigación) + 0.9448 * KO (Investigadores) + 0.0102 * KO (Patentes Concedidas Nal) + 606.3367 * KO (Población) + -18823.4939$ <p>PIB per cápita Corea del Sur 2010: \$14.428 PIB per cápita Corea del Sur 2020: \$26.686 Incremento: 85%</p>

Fuente: elaboración propia en el software de minería de datos WEKA.

Conclusiones

Si bien el modelo de regresión propuesto para cada país relaciona el PIB per cápita con las variables de Ciencia y Tecnología descritas con un buen coeficiente de correlación, es claro que el modelo no es completo ya que no incluye otras variables de Ciencia y Tecnología igualmente relevantes; sin embargo, el modelo presentado sirve de punto de partida para entender, de manera general, la intensidad de la relación de tales variables y el PIB.

De acuerdo a los resultados resumidos en el Cuadro 2, se estima que para el 2020 el PIB per cápita para Colombia aumentaría en un 60% y para Corea del Sur el aumento sería del 85%, y este último continuará siendo un orden de magnitud mayor al de Colombia.

Es interesante observar que, contrario al modelo de regresión para Corea del Sur, en el caso de Colombia, el PIB per cápita no depende del número de investigadores dedicados a actividades de I&D, lo cual se podría explicar porque esta variable para el caso de Colombia se ha mantenido constante aproximadamente en el mismo nivel desde 1960.

En los dos modelos se encuentra que la inversión en actividades de Investigación y Desarrollo como un porcentaje del PIB, es el factor que tiene mayor intensidad en la explicación del PIB per cápita; sin embargo, para el caso de Corea del Sur, este factor es de un orden de magnitud mayor al de Colombia.

Para el caso de Corea del Sur, es interesante observar que si bien su desarrollo tecnológico se disparó desde 1985, reflejado en el número de solicitudes de patente por residentes, en el modelo de regresión esta variable es la que menor peso tiene en su relación con el PIB.

A partir de los datos analizados y los resultados del modelo de regresión, se puede concluir, en concordancia con el trabajo de Gómez (2003, p. 154), que la divergencia en el desarrollo entre Colombia y Corea del Sur, se explica en que el proceso de desarrollo económico para Corea del Sur se ha basado fundamentalmente en la formulación y eficaz ejecución de políticas comerciales, industriales y tecnológicas bien articuladas, además del reconocimiento de la ciencia y la tecnología como elementos estratégicos para el desarrollo del país.

Como conclusión final, para un país como Colombia, es urgente la adopción de medidas que permitan la transformación de su economía, para que pase de ser meramente consumidora de tecnología e innovación, a ser productora de tecnología, pues de lo contrario la dependencia será mayor y la brecha con los países desarrollados será más grande; y aún más teniendo en cuenta que la era en la que una o dos materias primas (exceptuando al petróleo) sostenían un país, parece estar llegando a su fin.

Referencias

- Acevedo, S. (2007). Midiendo el impacto del capital humano en el crecimiento económico de Corea del Sur. *Ecos de Economía*, 11(24) 81-108.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction, *Econometrica* 60, 2.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1998). *Endogenous Growth Theory*, Londres, UK: MIT Press.
- Barrio, T. & García-Quevedo, J. (2003). The Geography of Innovation: the Effects of University Research. Working paper of the series *Papers in Economics* no. 120.2
- Barro, R. J. (2001). Human Capital and Growth. *The American Economic Review* No. 1 (Mayo). pp. 12-17.
- Benavides G., Ó. A. & Forero, C. (2002). Crecimiento endógeno: conocimiento y patentes. *Revista de Economía Institucional*, 4(6) 109-131.
- Buitrago Díaz, E. (2009). Propiedad Intelectual y Desarrollo tras el acuerdo sobre los ADPIC. *Propiedad Intelectual*, VIII (12) 63-90.
- Caruso, R. & Palano, D. (2005). Regioni e Territori nello Spazio Europeo della Ricerca, *Regional and Sectoral Economic Studies*, Vol.5-1. 1, 2
- Fagerberg, J. & Srholec, M. (2008). National Innovation Systems, Capabilities and Economic Development. *Research Policy*, 37, pp. 1417-1435.
- Freeman, C. (1995). The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5-24.
- Freeman, C. & Soete, L. (1997). *The Economics of Industrial Innovation*. Cambridge (MA), UK: The MIT Press.
- Glaeser, E.L. & Shapiro, J. (2001). Is There a New Urbanism? The Growth of U.S. Cities in the 1990s. *NBER Working Papers* 8357, on line.1
- Gómez Chiñas, C. (2003). Comercio exterior y desarrollo económico, el caso de Corea del Sur. *Análisis Económico*, XVIII (37) 141-155.
- Grossman, G. M. & Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge, UK: MIT Press.

- Guisán, M. C. & Aguayo, E. (2005). Gasto en I+D, desarrollo económico y empleo en las regiones españolas y europeas. *Estudios de Economía Aplicada*, 23(3) 637-662.
- Guisán, M.C. & Aguayo, E. (2001 a). Panorama regional y sectorial del empleo en los países de la Unión Europea 1985-2000. *Regional and Sectoral Economic Studies/Estudios Económicos Regionales y Sectoriales*. Vol. 1-1, pp. 9-43.1,2
- Guisán, M.C., Cancelo, M.T., Aguayo, E. & Diaz, M.R. (2001). Educación, investigación y desarrollo regional.
- Guisan, M.C. et al (2001) *Modelos econométricos interregionales de crecimiento de la industria y los servicios en las regiones europeas. 1985-95*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Guisan, M.C. (2004). Education, Research and Manufacturing in EU25: An Inter-Sectoral Econometric Model of 151 European Regions, 1995-2000. *Regional and Sectoral Economic Studies*, Vol.4-2.1,2
- Jaffee, A. (1989). Real Effects of Academic Research. *American Economic Review*. Vol. 79(5), pp. 957-70.
- Korres, G.M., Chionis, D. & Staikouras, C. (2004). Regional Systems of Innovation and Regional Policy in Europe. *Regional and Sectoral Economic Studies*, Vol.3-2. 1,2
- Lucas, R. E. (1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics* No. 22 (Julio). pp. 3-42.
- Mankiw, N. G., Romer, D. & Weil, D.N. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics* No. 107 (Mayo). pp. 407-437.
- Martin, C., Mulas-Granados, C. y Sanz, I. (2004). Spatial Distribution of RD Expenditure and Patent Applications across EU Regions and its Impact on Economic Cohesion. *Working paper of the series European Economy Group* no. 32.2
- Mutter, K. W. (2006). Propiedad intelectual y desarrollo en Colombia. *Revista Estudios Socio-Jurídicos*, 8(2) 85-101.

- Neira, I. y Guisán, M. C. (2002). Modelos econométricos de capital humano y crecimiento económico: efecto inversión y otros efectos indirectos. *Economic Development Working Papers*, 62, on line. 1,2
- Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York, EE.UU: The Free Press.
- Quindós Morán, M. P., Vicente Cuervo, M. R. & Rubiera Morollón, F. (2005). La eficiencia de las actividades de I+D desde el punto de vista de las patentes registradas en los países de la Unión Europea. *Estudios de Economía Aplicada*, 23(3) 607-619.
- Robledo Velásquez, J. (2013). Innovación y Desarrollo Económico. En Robledo Velásquez, J. (2 Ed.), *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación* (pp. 31-33). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez Spinelli, F. (2008). El Sistema de Patentes y el Desarrollo Tecnológico: Algunas Consideraciones en el Marco de la Libre Competencia. *Propiedad Intelectual*, VII (11) 87-109.
- Rojas, R. J. (2009). *Sistemas nacionales de innovación: una aproximación empírica a la medición de los intangibles como factores explicativos de la capacidad innovadora de los países* (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Rojas Alvarado, R. & Fernández de Soto, J. M. (2012). Estudio de cooperación entre Colombia y Corea del Sur en el sector textil-confecciones. *Civilizar. Ciencias Sociales y Humanas*, 12 (22) 143-156.
- Romer, P. 1987. "Growth Based on Increasing Returns Due to Specialization", *AEA Papers and Proceedings* 77, 2.
- Romer, P. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), pp. 71-102.
- Rondé, P. y Hussler, C. (2005). Innovation in regions: what does really matter? *Research Policy*, 34(8), pp. 1150-1172.
- Rubio Barrios, J. E., Tshipamba, N. & Ramírez Alvarado, L. F. (2013). La legislación como instrumento del desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación: el caso de Corea del Sur. *Revista Enfoques: Ciencia Política y Administración Pública*, XI (19) 19-35.

Sánchez, J. M., Medina, J. E. & León, A. M. (2007). Publicación internacional de patentes por organizaciones e inventores de origen colombiano. *Cuadernos de Economía*, XXVI (47) 247-270.

Solow, R. (1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics* 70, 1.

Young, A. (1991). "Learning by Doing and the Dynamic Effects of International Trade", *Quarterly Journal of Economics* 106, 2.

Young, A. (1992). "Invention and Bounded Learning by Doing", *Journal of Political Economy* 101, 3.

Young, A. (1993). "Substitution and Complementary in Endogenous Innovation of Economics", *Quarterly Journal of Economics* 108, 3.