



Patentes e innovación en América

Patents and innovation in America

JARAMILLO, Sofía 1; MARTÍNEZ, Diego F. 2 y AGUDELO, Jorge E. 3

Recibido: 28/08/2019 • Aprobado: 22/12/2019 • Publicado 15/01/20

Contenido

- [1. Introducción](#)
 - [2. Metodología](#)
 - [3. Resultados e interpretación](#)
 - [4. Conclusiones](#)
- [Referencias Bibliográficas](#)

RESUMEN:

El análisis de la innovación como parte del crecimiento económico ha sido estudiado desde hace décadas a partir de los modelos pioneros desarrollados por Shumpeter y Romer, quienes revelaron como la innovación es el motor de la productividad y la expansión económica. Estos trabajos pioneros suscitaron una gran cantidad de estudios al respecto, entre los cuales destacan aquellos más recientes, que buscan encontrar los elementos que detonan los incrementos en la innovación representados en su mayoría por patentes que derivan de investigaciones aplicadas. En este estudio analizamos a partir de modelos matemáticos las variables que influyen en el crecimiento de la innovación (medida a partir de patentes) en veintidós países de América, encontrando similitudes en aquellos países ubicados en el norte y en el sur del continente.

Palabras clave: Patentes, Innovación, América

ABSTRACT:

The analysis of innovation as part of economic growth has been studied for decades from the pioneering models developed by Shumpeter and Romer, Researchers who revealed how innovation is the engine of productivity and economic expansion. These pioneering works provoked a large number of studies in this regard, among which the most recent ones stand out, which seek to find the elements that trigger the increases in innovation represented mostly by patents derived from applied research. In this study, we analyze from mathematical models the variables that influence the growth of innovation (measured from patents) in twenty-two countries of America, finding similarities in those countries located in the north and south of the continent.

Keywords: Patents, Innovation, America

1. Introducción

Desde hace décadas se asume que la innovación es la clave del crecimiento económico en los países, gracias a que incrementa la producción de las empresas sin necesidad de aumentar los niveles de capital o trabajo empleados en el proceso. De hecho, diversos modelos de crecimiento económico han tratado de explicar cómo la innovación hace crecer las economías de los países, gracias a los trabajos pioneros desarrollados por ejemplo por Schumpeter, quien consideraba la innovación un factor importante para incrementar la productividad y en últimas para expandir el crecimiento económico de un país. Particularmente, el modelo de Robert Solow fue uno de los primeros en cuantificar el progreso técnico como una variable exógena al modelo que explica el crecimiento de largo plazo de las economías, mientras los modelos de crecimiento exógeno como el desarrollado por Paul Romer asumen que el progreso técnico es fruto de la innovación que es determinada a su vez por las inversiones que realizan los agentes económicos. De igual manera, las teorías modernas de comercio internacional muestran como la tecnología y la innovación generan ventajas competitivas en los países que las adoptan, Agudelo y Martínez (2019),

reduciendo el riesgo en los proyectos y mejorando las estimaciones de los rendimientos, Londoño, et al (2019).

De esta manera la inversión en I+D se vuelve fundamental en el proceso de desarrollo económico de los países y es promovida activamente por los gobiernos de todo el mundo. Sin embargo, son muchos los factores que inciden en el desarrollo del proceso de innovar, a pesar de que algunos autores como Symeonidis (1996) indican que no existe relación entre el tamaño del mercado o la estructura del mismo con la innovación. De hecho, Huang y Xu (1999) encontraron que las instituciones financieras son importantes en el proceso de innovación particularmente cuando la incertidumbre es alta y muy especialmente en las industrias farmacéuticas, electrónicas e informáticas, sobre todo cuando las empresas son jóvenes.

Por otra parte, es ampliamente conocido que las actividades de los gobiernos son determinantes para impulsar el desarrollo innovador en las empresas. De hecho hace algunos años Rodríguez-Pose y Di Cataldo (2014) encontraron que el mejor desempeño de los gobiernos regionales en cuanto a control de corrupción, efectividad y responsabilidad del gobierno, así como el mantenimiento del estado de derecho, dan forma al crecimiento de las patentes en todas las regiones y subregiones de Europa. Sin embargo, algunos autores como Ege y Ege (2018) encontraron que no sólo el gobierno regional tiene la posibilidad de influenciar el desarrollo innovador de las empresas, sino que además el ambiente legal, político, económico, social e informativo crean un entorno amigable para el desarrollo de actividades de innovación, aún por encima de los subsidios y la protección de las patentes promovidas por los gobiernos. Más recientemente Brasili, et al (2019) argumentan que las inversiones en I+D, el entorno regional de las empresas, la calidad de las instituciones, la infraestructura y el nivel educativo de la fuerza laboral utilizada en ciencia y tecnología son determinantes para el desarrollo de actividades de innovación. De manera que en general se asume que los gobiernos nacionales y regionales a partir de diversas políticas pueden estimular el desarrollo de la innovación a partir de la implementación de diversos tipos de política.

2. Metodología

Para realizar el estudio se emplea un modelo econométrico basado en el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y distribuciones de probabilidad desarrollado por Friedrich Gauss como se observa en Agudelo y Ospina (2019), consiste en encontrar una función continua a partir de un grupo de pares ordenados que genere el mínimo error cuadrático. Inicialmente se tiene una expresión que corresponde a una variable explicada y un conjunto de variables explicativas, de este modo:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i \quad \text{Donde } i = 1, 2, 3 \dots n$$

De manera que si se tiene un conjunto de n ecuaciones simultáneas, se puede reescribir la ecuación como, como indican Martínez y Agudelo (2019):

$$Y_n = \beta_1 + \beta_2 x_{n1} + \dots + \beta_k x_{kn} + u_n$$

Lo que implica que esta expresión escrita en términos matriciales toma la forma de:

$$Y = X\beta + u$$

En donde el coeficiente beta se obtiene partiendo de los estimados de la ecuación anterior, minimizando el error:

$$\hat{u} = y - X\hat{\beta}$$

Así, puede obtenerse a partir del error cuadrático:

$$\begin{aligned} \hat{u}'\hat{u} &= (y - X\hat{\beta})'(y - X\hat{\beta}) \\ \hat{u}'\hat{u} &= y'y - 2\hat{\beta}'X'y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta} \end{aligned}$$

Ahora, las ecuaciones originales pueden expresarse como:

$$(X'X)\hat{\beta} = X'y$$

Si multiplicamos a ambos lados por $(X'X)^{-1}$ obtenemos:

$$(X'X)^{-1}(X'X)\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$$

De manera que la expresión se transforma en:

$$I\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$$

En donde I es la matriz identidad, de manera que:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y$$

Lo que permite obtener los estimadores de los parámetros β de los modelos de mínimos cuadrados empleados en el estudio.

Sin embargo, como indican Ospina y Agudelo (2019), en los modelos econométricos tradicionales usualmente se considera una regresión del tipo:

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i$$

O en forma matricial:

$$y = X\beta + U$$

En donde:

y: Vector de dimensión de n observaciones de la variable endógena.

X: Matriz de dimensión, donde k-1 es la cantidad de variables exógenas del modelo.

b: Vector de dimensión de parámetros de las variables exógenas.

U: Vector de dimensión de perturbaciones aleatorias ruido blanco.

Utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios o el de máxima verosimilitud se puede obtener un estimador adecuado del vector de parámetros b:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

Sin embargo, para variables que presentan el fenómeno de dependencia espacial debe utilizarse otro tipo de modelos llamados modelos econométricos espaciales, entre los cuales se encuentran los obtenidos por medio de regresiones geográficamente ponderadas, las cuales permiten estimar modelos locales para cada una de las observaciones:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i$$

Donde (u_i, v_i) representan las coordenadas que describen la ubicación geográfica de la observación.

Mediante métodos de estimación tales como el de máxima verosimilitud o el de mínimos cuadrados ordinarios es posible estimar el vector de parámetros:

$$\beta(u_i, v_i) = [\beta_0(u_i, v_i), \beta_1(u_i, v_i) \dots \beta_k(u_i, v_i)]^T$$

Como se describe a continuación.

En el modelo lineal general $Y = X\beta + U$, premultiplicando por una matriz de ponderaciones T no singular, se obtiene:

$$TY = TX\beta + TU$$

La matriz de varianzas y covarianzas de TU es:

$$\sum_{TU} = E[(TU - E(TU))(TU - E(TU))^T]$$

Como:

$$E(TU) = TE(U) = 0, \text{ Se tiene:}$$

$$\sum_{TU} = E[TU(TU)^T]$$

$$\sum_{TU} = E[TUU^T T^T]$$

$$\sum_{TU} = TE[UU^T] T^T$$

En los modelos donde se utilizan datos con dependencia espacial se introduce naturalmente la heterocedasticidad (Chasco, 2003). Por lo tanto, asumiendo que este fenómeno se encuentra presente, se tiene:

$$\sum_U = E[UU^T] = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} = \sigma^2 W^{-1}, \text{ con } W^{-1} I$$

Y entonces,

$$\sum_{TU} = T\sigma^2 W^{-1} T^T$$

$$\sum_{TU} = \sigma^2 T W^{-1} T^T$$

De donde se deduce que para que no exista heteroscedasticidad en el modelo es necesario que:

$$T W^{-1} T^T$$

De donde despejando la matriz W , se obtiene:

$$W = T^T T$$

Como el modelo lineal general considerado es $TY = T\beta + TU$, el estimador de β es:

$$\hat{\beta} = ((TX)^T TX)^{-1} (TX)^T (TY)$$

$$\hat{\beta} = (X^T T^T TX)^{-1} X^T T^T Y$$

$$\hat{\beta} = (XTWX)^{-1} X^T WY$$

Por consiguiente, el estimador para el vector de parámetros $\beta (u_i, v_i)$ es:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y$$

En donde $W(u_i, v_j)$ es la matriz de pesos espaciales de dimensión $(n \times n)$ de la observación correspondiente a las coordenadas (u_i, v_i) . Las componentes W_{ij} de dicha matriz son calculadas a partir de una función kernel, en este caso a partir de la función gaussiana, que asigna una mayor ponderación a las observaciones más cercanas.

$$W_{ij} = \begin{cases} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{b}\right)^2\right] & \text{si } d_{ij} < b \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

En donde d_{ij} es la distancia euclidiana entre el punto con coordenadas (u_i, v_i) y el punto de coordenadas (u_j, v_j) . El parámetro b se calcula a partir del criterio de validación cruzada:

$$CV = \min_b \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_i(b)]^2$$

A partir de este instrumento se busca predecir el crecimiento del número de patentes por millón de habitantes en 22 países de América, a partir de variables explicativas como la variación de la "Calidad de la educación en ciencias y matemáticas", de la "Colaboración universidad – industria en I+D" y de la "Financiación a través del mercado de capitales local" que son ítems que se reconocen como relevantes en el proceso de innovación. Finalmente, el modelo especificado debe tener la siguiente forma funcional:

$$\Delta \text{Patentes} = \beta_0 + \beta_1 \Delta \text{Calidad Educación} + \beta_2 \Delta \text{Colaboración} + \beta_3 \Delta \text{Financiación}$$

De esta manera es posible aislar el efecto de cada variable en las patentes obtenidas por un país. Los datos empleados en el estudio fueron obtenidos de la base de datos del Foro Económico Mundial de 2018, que comprenden los resultados de 22 economías de América. Estos datos son recopilados por la organización a partir de la información disponible en los bancos centrales y departamentos nacionales de estadística de cada país. Las variables utilizadas en la modelación son las siguientes:

Patentes por millón de personas: Corresponde a la diferencia en el número de patentes por millón entre 2017 y 2013, como proporción de la población. Se emplea como un variable proxy de la innovación de un país.

Calidad de la educación en ciencias y matemáticas: Hace referencia a la diferencia en el puntaje obtenido por cada país en la base de datos del Foro Económico Mundial entre 2017 y 2013. Se espera que mientras más alta sea la diferencia la calidad de la educación mayor sea el número de patentes.

Colaboración universidad industria en I+D: Corresponde a la diferencia en el nivel de colaboración que existe entre las empresas y las universidades para llevar a cabo procesos de investigación y desarrollo entre 2017 y 2013. Mientras más alto el puntaje mayor es la colaboración. Se espera que mientras más alta sea la colaboración entre universidad e industria, mayor será el número de patentes.

Financiación a través del mercado local: Muestra que tan fácil es para un emprendedor obtener financiación a partir del mercado local. El dato empleado corresponde a la diferencia de puntajes obtenidos entre 2017 y 2013. Mientras más elevado es el valor del indicador, más fácil es obtener financiación por este medio. Se espera que mientras más elevado sea el indicador mayor sea el número de patentes.

En la siguiente sección se presentan los resultados de la modelación y las conclusiones del estudio.

2.1 Caso de estudio

El continente americano es la segunda masa de tierra más grande del planeta con cerca de 43 millones de metros cuadrados, que cubren el 8.5% de la superficie del planeta y corresponden al 30% de la tierra emergida. Esta masa terrestre se encuentra dividida en tres sub continentes y se extiende en la zona norte desde el cabo Columbia en Canadá hasta las islas Diego Ramírez ubicadas en el sur del continente en territorio Chileno.

El continente está conformado por 35 países, que agrupan una población de más de mil millones de habitantes que corresponden a los 12% de la población humana, congregados en tres subcontinentes, lo que implica una densidad de cerca de 24 habitantes por kilómetro cuadrado, lo que lo hace el tercer continente más poblado después de Asia y África. Actualmente, cerca del 70% de la población habita en grandes ciudades, de tal manera que las mayores agrupaciones poblacionales se encuentran en Ciudad de México, Nueva York y Sao Paulo.

En el ranking de las economías más grandes del mundo, sólo cuatro se encuentran entre las veinte primeras: Estados Unidos, Brasil, Canadá y México, toda vez que con excepción de las economías de los países de Norteamérica, la mayoría de los países se concentran en la extracción de recursos naturales, la industria agrícola y en menor medida las manufacturas, lo que implica que son economías tremendamente dependientes de la demanda y los ciclos económicos de los países desarrollados.

La motivación del estudio radica en presentar evidencia matemática de que la calidad de la educación en matemáticas y ciencia, la alta colaboración empresa – universidad para actividades de investigación y desarrollo (I+D) y la facilidad de acceso a financiación en el mercado local de capitales, permiten que la innovación medida a través del número de patentes por millón de habitantes crezca notoriamente en el continente.

3. Resultados e interpretación

Una vez obtenidos los datos de la base de datos del Foro Económico Mundial de 2018, se empleó el programa Eviews para estimar un modelo econométrico clásico, que presentó los siguientes resultados:

Tabla 1

Variable	Coefficiente
Constante	10.03
Calidad	0.668
Colaboración	5.350
Financiación	2.917

Fuente: Elaboración propia

El modelo especificado muestra que todas las variables son significativas, aunque sólo explican el 34.7% de la variación en las patentes por millón de personas obtenidas en cada país. En general

se observa que el crecimiento en la colaboración entre empresas y universidades en I+D es la variable más relevante al momento de analizar el incremento del número de patentes por millón, de manera que un aumento de una unidad en esta variable genera, en promedio, un crecimiento de más de cinco patentes por millón de habitantes en cada país. En segundo lugar el aumento de la financiación a través del mercado local de capitales, genera en promedio un incremento de casi tres patentes por cada millón de habitantes. Por último, la calidad de la educación en matemáticas y ciencias, genera un incremento de 0.6 patentes por millón, lo que podría resultar paradójico y contrario a lo esperado, sin embargo, la migración de científicos con títulos de doctorado y postdoctorado puede explicar que países que no tienen elevadas calificaciones en educación matemática y de ciencias ostenten niveles superiores de patentes y viceversa. En general el modelo muestra que la educación en ciencia y matemática es relevante en el proceso de innovación y obtención de patentes, siempre que esté acompañada de una adecuada financiación y de colaboración de empresas que convierten la investigación básica en investigación aplicada que es susceptible de patentar.

A pesar de ello, aunque el modelo econométrico clásico presenta resultados que van en línea con lo esperado, las estimaciones no cuentan con la suficiente capacidad predictiva, por lo cual se emplearon modelos econométricos de regresión geográficamente ponderada y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2

País	Real	Estimado	R2
Argentina	0.154497565	0.14180438	99,9%
Bolivia	-0.039790376	-0.059855779	99,4%
Brasil	0.611072268	0.58563201	96,4%
Canadá	11.2191277	11.219124	100,0%
Chile	5.03604784	5.01242543	99,5%
Colombia	0.953618338	0.748778513	61,4%
Costa Rica	1.14508817	0.535531372	50,9%
República Dominicana	-0.202155598	-0.04728882	76,1%
Ecuador	0.108376624	0.116237702	91,1%
El Salvador	-0.135767194	-0.176905507	84,8%
Guatemala	-0.43166735	-0.00460343	34,8%
Haití	-0.025344069	-0.001394731	99,0%
Honduras	0	0.041121763	61,8%
Jamaica	-0.290420606	-0.260104056	95,4%
México	0.761967578	0.749753186	99,3%
Nicaragua	0.027713114	0.40123889	27,3%
Panamá	0.988210377	0.681328759	58,9%

Paraguay	-0.078840825	0.1216938	65,8%
Perú	0.384166851	0.384137079	97,6%
Estados Unidos	38.6149436	38.6002011	99,9%
Uruguay	0.13242765	0.149964615	99,8%
Venezuela	0.092761349	0.212945637	80,8%

Fuente: Elaboración propia

Al emplear este tipo de modelos se obtienen ajustes superiores a los registrados en la metodología econométrica tradicional, sin embargo, en tres países las variables explicadas parecen no estar muy relacionadas con la variación en el número de patentes, como es el caso de Nicaragua, Honduras y Guatemala, países que deberían tener una mayor variación en el número de patentes por millón de habitantes. Caso contrario ocurre en los países ubicados en los puntos más extremos del continente como es el caso de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Uruguay y Perú, en el sur y Estados Unidos, México y Canadá, en el norte del continente, espacios geográficos en los que el crecimiento en el número de patentes está claramente más relacionado con la mayor colaboración entre empresas y universidades en I+D, la mayor facilidad de financiación en el mercado de capitales y el crecimiento en la calidad de la educación en matemáticas y ciencias. A continuación en el gráfico 1 se pueden observar los mejores ajustes del modelo en las zonas más extremas del continente coloreados con tonos más oscuros y aquellos con menores niveles de ajuste coloreados con colores más claros. En color gris se encuentran aquellos países de los cuales no se obtuvieron datos para correr el modelo.

Gráfico 1



Fuente: Elaboración propia

En general, los resultados obtenidos muestran que aquellos países en los cuales se incrementa la colaboración entre universidades y empresas en investigación y desarrollo, mejora la calidad de la educación en ciencias y matemática y tienen mayor acceso a la financiación del mercado de capitales, tienden a incrementar notoriamente el nivel de patentes por millón de habitantes, de manera que cualquier país que desee mejorar sus niveles de innovación y de patentes, debería concentrarse en mejorar estos tres ítems con el fin de acelerar rápidamente en la consecución de sus objetivos. Por el contrario, en los países centroamericanos, Colombia y Venezuela, el número de patentes parece no estar relacionado con las variables analizadas, lo que podría implicar fugas de capital intelectual desde estos lugares a países con mayores salarios o niveles de vida, poca colaboración entre universidades y empresas para desarrollar y patentar productos provenientes de investigación aplicada o evidenciar trabas y dificultades en el proceso necesario para patentar productos. Lo que evidencia un cuello de botella en el desarrollo de estos países que podría tender a rezagarlos en términos económicos frente a los demás países de norte y sur América.

4. Conclusiones

En este trabajo se emplearon modelos de regresión clásica y de regresión geográficamente ponderada, para analizar los factores que influyen en el crecimiento de las patentes por millón en los países de América como una variable proxy de la innovación en el continente. Gracias a este tipo de modelos es posible encontrar ecuaciones que expliquen el comportamiento de esta variable a partir de un conjunto de datos de corte transversal.

Los modelos desarrollados muestran que las mejoras en la colaboración entre universidades y empresas en I+D, en la calidad de la educación en ciencias y matemática y el mayor acceso a la financiación del mercado de capitales, permiten que los países de América aumenten notoriamente el nivel de patentes por millón de los habitantes, particularmente en los países del norte y el sur del continente, mientras que en el caso de los países centroamericanos parece no existir relaciones fuertes entre las variables analizadas.

Próximos trabajos estarán enfocados en desarrollar modelos matemáticos que permitan dilucidar los mecanismos a partir de los cuales la mayor colaboración entre universidades y empresas permite acelerar los procesos de innovación y de generación de patentes en los países centroamericanos y establecer los mecanismos a partir de los cuales es posible incrementar los niveles de innovación en esta zona del continente.

Referencias Bibliográficas

- Agudelo, J. y Ospina, O. (2019). Valoración de inmuebles empleando distribuciones de probabilidad tridimensionales. Ed. Optimal Research.
- Agudelo, K. y Martínez, D. (2019). Economía Internacional. Ed. Optimal Research.
- Brasili, A, et al. (2019). Framework conditions, innovation and productivity in european regions. Comparative Economic Studies. 61(2): 235-259
- Ege A. y Ege Y. (2018). How to create a friendly environment for innovation? A case for europe. Social indicators research. 144 (1): 451-473
- Huang H. y Xu C. (1999). Institutions, Innovations, and Growth. American Economic Review. 89: 438-443
- Londoño, Y. Et al. (2019) Instrumentos financieros un enfoque matemático. Ed. Optimal Research.
- Martínez, D. y Agudelo, K. (2019). Econometría básica un enfoque matemático. Ed. Optimal Research.
- Ospina, O. y Agudelo, J. (2019). Infraestructura y mercado de arrendamientos en Medellín analizado a partir de regresiones geográficamente ponderadas. Ed. Optimal Research.
- Rodríguez-Pose A. y Di Cataldo M. (2015). Quality of government and innovative performance in the regions of Europe. Journal of Economic Geography. 15
- Symeonidis, G. (1996), "Innovation, Firm Size and Market Structure: Schumpeterian Hypotheses and Some New Themes", *OECD Economics Department Working Papers*, No. 161, OECD Publishing, Paris.
-

1. Mediadesign Hochschule, Kassel University. Alemania
 2. Departamento de Finanzas, Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM. Colombia
 3. Departamento de Finanzas, Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM. Colombia
-

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 41 (Nº 01) Año 2020

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster@revistaespacios.com)]

revistaESPACIOS.com



This work is under a Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International License