

Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development, August 3-5, 2011, Medellín, Colombia.

Ronald Rojas Alvarado

Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia

Ronald.rojas@usa.edu.co

José Luis Hervás Oliver

Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

jose.hervas@omp.upv.es

Drivers Esenciales de los Sistemas Nacionales de Innovación

RESUMEN

El artículo presenta un enfoque para abordar los principales *gaps* en la literatura de los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI): el problema de especificar las fronteras de los SNI y la falta de una conexión entre los argumentos teóricos con los empíricos. Para dicho propósito, utilizamos 55 economías como muestra y construimos un índice de SNI basados en un factor de análisis de 28 variables. La evidencia empírica muestra que las estrategias de las empresas, la infraestructura tecnológica, las instituciones, la educación y la transferencia de conocimiento, es decir, las interacciones, son los principales componentes de los SNI y son los responsables de una parte importante de las diferencias del *output* innovador entre los países, medido a través del PIB per cápita ppp y las patentes. Las implicaciones son de gran relevancia tanto para los decisores políticos como para la academia.

Palabras claves: Sistemas Nacionales de Innovación, Decisores Políticos, Patentes, Competitividad.

ABSTRACT

The paper presents an attempt to tackle the main gaps in the national innovation systems (NSI) literature: the problem specifying the boundaries of the NSI and the lack of connection between theory and empirics. For this purpose the paper uses 55 countries as sample and constructs an NSI index based on a factor analysis of 28 variables. Empirical evidence shows that a firm's strategies, technology infrastructure, institutions, education and transfer knowledge, i.e. linkages, are the main components of the NSI and are responsible for an important part of the differences across countries on the innovative output measured by GDP and patents. The implications are important for policymakers and the academia.

Keywords: National Innovation Systems, Policymakers, Patents, Competitiveness.

1. INTRODUCCIÓN

Siguiendo a Edquist (2005) existen varios vacíos en la literatura, los cuales merecen más atención empírica por parte de los investigadores:

Primero, el problema de especificar las fronteras o límites de los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI), refiriéndose a la identificación de los determinantes -o factores- constituyentes de los SNI.

Segundo, el SNI ha sido usado más como concepto o etiqueta que como herramienta analítica. Resaltando la escasez de trabajos que confronten los argumentos teóricos con los empíricos en torno a este ámbito (por ejemplo, Galli y Teubal, 1997; Liu y White, 2001; Hekkert y Negro, 2009).

Con respecto a la configuración de dichas fronteras o límites de los SNI, varios trabajos han mencionado algunas actividades: I+D, implementación, educación e interacciones (Liu y White, 2001) o funciones: crear nuevo conocimiento, guiar la dirección del proceso de investigación, suministrar recursos, crear economías externas positivas, y facilitar la formación de mercados (Johnson y Jacobsson, 2003; Bergek et al., 2008). Sin embargo, es difícil seguir un enfoque holístico (Edquist, 2005) y, al mismo tiempo, especificar los determinantes exactos de la innovación cuando el método de análisis dirigido a la estructura de los SNI ha probado ser insuficiente (Chaminade y Edquist, 2005). Este es el desafío que nosotros emprendemos en este artículo. Este estudio se dirige a solventar dichos vacíos y a contribuir al análisis teórico a través de un análisis empírico.

2. TEORIA

Por un lado, existen varios estudios, dirigidos por reconocidas instituciones de carácter internacional, las cuales no se enfocan directamente en los SNI, tales como el *World Economic Forum (Global Competitiveness Index)*, entre otros índices) y el *Institute for Management Development (World Competitiveness Yearbook)*. Aunque la competitividad no es completamente idéntica a la medición de la innovación y al crecimiento, los índices anteriormente resaltados presentan un enfoque holístico para medir la competitividad y pueden constituir una base útil para la construcción de índices compuestos de medición de los SNI.

Siguiendo a Hervas y Dalmau (2007), los estudios anteriormente citados de medición de la competitividad y los efectos económicos conectan la atmósfera microeconómica local de los negocios con capas superiores de conocimiento dirigidas por instituciones o por políticas gubernamentales activas. Por tanto, los pilares que sustentan la competitividad de un país son la *infraestructura* (universidades, educación pública, disponibilidad de científicos, instituciones de I+D, mecanismos para asegurar la competición, etc.), las *industrias o el sector privado* (la sofisticación de las empresas, la presencia de clusters, las *interacciones* (instituciones de transferencia de conocimiento tales como universidades, sistemas de formación vocacional, etc.) entre otros factores.

Por otro lado, Abramovitz (1986) resalta que las diferencias en el desarrollo entre las económicas subyacen en el Capital Social. En consecuencia, podemos apreciar que los diversos estudios y enfoques se dirigen a medir la capacidad innovadora nacional, aunque extendiendo el constructo frente a la competitividad.

Los elementos anteriormente señalados constituyen un punto de inicio para las teorías y perspectivas que apoyan el concepto de SNI. Edquist y Johnsson (1997) resaltan que las organizaciones son estructuras formales, las cuales son conscientemente creadas y tienen un propósito explícito, mientras que las instituciones son conjuntos comunes de hábitos, normas, rutinas, prácticas establecidas, reglas o leyes que regulan las relaciones e interacciones entre individuos, grupos y organizaciones. Siguiendo a Edquist (2005), y basados en la literatura clásica de Lundvall y Nelson, las tres principales clases de aprendizaje en el enfoque de los sistemas de innovación SI, formadas por las organizaciones y las instituciones, son:

- Las innovaciones hechas por las empresas, relacionadas con el aprendizaje organizacional.
- La Investigación y el Desarrollo, principalmente dirigida por las universidades y las organizaciones de investigación pública, además de las empresas.
- La construcción de competencias, tales como la formación y la educación.
- Más, la interacción entre todas tres.

En otras palabras, estas competencias de los SI pueden también ser ajustadas como innovación en las empresas, la infraestructura pública, el gobierno, los recursos humanos y las interacciones, respectivamente.

Fagerberg y Srholec (2008) aplicando un análisis factorial, encontraron evidencia empírica de 4 factores o componentes de un SNI: sistema de innovación (SI), gobierno, sistema político y apertura. Dichos autores reconocieron que los factores esenciales que contribuyen en un alto grado a la explicación de la varianza son los dos primeros. Siguiendo esta evidencia y la teoría anteriormente mencionada, la próxima cuestión es: ¿Cómo deconstruir un SNI?. Siguiendo el modelo propuesto por Hervas y Dalmau (2007) para medir los stocks de capital intelectual, los SNI deberán tener una base constituida por:

- *Aspectos Macro*: el componente esencial tomado en consideración es la infraestructura (por ejemplo, Furman et al., 2002) –acumulación de conocimiento basado en las universidades, centros de I+D, cualificación de recursos humanos, etc.).
- *Aspectos Micro*: tales como la actitud estratégica y el espíritu emprendedor de las empresas locales, la presencia de clusters los cuales promueven la innovación y el conocimiento generado de la interacción y, que además, están vinculados a los aspectos macro (por ejemplo, Porter, 2001).
- *Interacciones-Meso*: conectando los aspectos macro y micro, principalmente refiriéndose a la dimensión regional y local (Romer, 1990).
- Un marco teórico basado en perspectivas diferentes pero complementarias para integrar los elementos en un modelo.
- El índice y las métricas contextualizadas a la naturaleza del país o región, medidas y ajustadas a la disciplina, es decir a los SNI.

En esta cadena de pensamiento, las siguientes hipótesis son formuladas:

H1. El Sistema Nacional de Innovación determina la capacidad competitiva de las economías (expresada por su PIB per cápita ppp).

H2. El Sistema Nacional de Innovación determina el *output* innovador de las economías (expresado por sus patentes USPTO y EPO per cápita).

3. DISEÑO EMPÍRICO

A tenor de los inconvenientes anteriormente enunciados, desarrollamos un análisis factorial exploratorio para ver las diferentes variables que conforman el SNI en que factores o bloques coherentes se agrupan. Asimismo, llevamos a cabo un análisis de regresión lineal multivariable entre los componentes o factores identificados y la competitividad de las económicas a través del PIB per capita ppp para el año 2008, así como el *output* de patentes per cápita en la USPTO (*United States Patent and Trademark Office*) y en la EPO (*European Patent Office*) para determinar la capacidad innovadora de las economías.

La muestra de países es de 55 economías, incluyendo las 30 de la OECD, debido a que, en especial, las economías en vías de desarrollo carecen de datos actualizados y/o de indicadores útiles para el estudio que nos ocupa. El periodo de cobertura va del año 2000 al 2006, considerando así 7 años para evidenciar que componentes determinan la competitividad y la capacidad innovadora de los países.

La principal fuente de información fue la base de datos del Anuario Estadístico de la Escuela de Negocios Suiza “IMD”. Sin embargo, también tuvimos en cuenta las siguientes fuentes de información: Informe de Competitividad del Foro Económico Mundial, la Base de Datos del Fondo Monetario Internacional, el Cuadro de Tendencia de Innovación en Europa “EIS”, la USPTO y la EPO.

4. RESULTADOS

Aplicando el test de fiabilidad, el Alfa de *Cronbach* es de 0,97 lo cual es excelente. El análisis factorial es aplicado reduciendo todas las variables a factores, lo cual representa la estructura subyacente de la matriz de datos (Hair et al., 1999). La Medida de Suficiencia de Muestreo (KMO) está por encima del 0,80, indicando que la aplicación del análisis factorial tiene sentido.

Después de aplicar el análisis factorial, la matriz de componentes rotada muestra 5 factores, cada uno comprendiendo diferentes variables y contribuyendo también a la varianza total explicada. El factor 1 (Sistema de Innovación, SI) explica el 56,68% de la varianza, el factor 2 (Gobierno-Instituciones) explica un 11,12%, y los 3 factores restantes –educación científica y recursos humanos (factor 3), actitudes empresariales (factor 4) y base educativa (factor 5) – son menos significativos, explicando de 4,6% a 5,6% de la varianza. Estos cinco factores explican el 83% de la varianza total de los datos. Nosotros nos enfocamos en los primeros dos factores los cuales conjuntamente representan el 67,8% de la varianza explicada.

Siguiendo el mismo procedimiento de Fagerberg y Srholec (2008), además de otros (por ejemplo, Sala-i-Martin y Artadi, 2004), nuestro estudio estableció un modelo de regresión lineal con 6 especificaciones. La variable dependiente es el PIB per cápita ppp (Porter, 2001), aunque también utilizamos datos de la USPTO y EPO como variables dependientes asociadas al nivel de *output* innovador de los países. Ambos modelos con PIB per cápita y patentes como variables dependientes son estadísticamente significativos ($p < 0.01$).

En general, los modelos con las especificaciones del PIB per cápita (1, 2, y 3), explican más la varianza que los modelos con las especificaciones de las patentes (4, 5 y 6), siguiendo un R^2 (0.685, 0.516, 0.691 versus 0.405, 0.442, 0.587, respectivamente). Los factores 3 y 4 no trabajan estadísticamente; únicamente los factores 1, 2 y 5 son estadísticamente significativos ($p < 0.01$ para 1 and 2; $p < 0.05$ para 5 respectivamente). El coeficiente más alto es para la especificación 6 (factor 1, 0.735 $p < 0.01$) mostrando la relación entre el factor 1 (Sistema de Innovación) y las patentes (USPTO) como *output* innovador. Sin embargo, el factor 5 (base educativa) también está relacionado con el nivel competitivo y con la capacidad innovadora de las economías.

5. DISCUSIÓN

Nuestros resultados son consistentes y van más allá que los obtenidos por Fagerberg y Srholec (2008). Nosotros obtenemos 2 factores críticos cubriendo el 67,8% de la varianza, conducida por el Sistema de Innovación y Gobierno e Instituciones, *institutions* (en el sentido de Nelson, 2008), presentando la mayor contribución a la explicación del *output* innovador de los países. Entre los demás factores, sólo el factor 5 (educación básica) está relacionado con el PIB y con las patentes, aunque los factores 3,4 y 5 adicionan un porcentaje relativamente bajo a la varianza explicada. En consecuencia, los dos primeros factores explican y describen un Sistema Nacional de Innovación.

Primero, el factor 1 (SI) está formado por la infraestructura tecnológica, las decisiones empresariales, la educación y las interacciones, explicando más de la mitad de la varianza. Segundo, el factor 2 (Gobierno e Instituciones) está compuesto por la apertura, el papel del gobierno y los factores sociales. Los factores 3 y 5 son redundantes debido a que ellos están asociados a la educación y a los recursos humanos, los cuales ya se encuentran en el factor 1.

Por lo tanto, los primeros dos factores de nuestro estudio (SI y Gobierno e Instituciones) son similares a los 4 factores obtenidos por Fagerberg y Srholec (2008). Así, podemos deducir que los componentes principales del SNI los cuales están asociados al desarrollo económico y a la capacidad innovadora son: la actitud en los negocios (empresas); los inputs en I+D y los outputs principalmente por el gobierno y por las instituciones públicas (infraestructura tecnológica); los aspectos políticos, los cuales aseguran un marco económico y social donde el progreso y el desarrollo junto con la calidad de vida, la equidad y otros aspectos sociales son motivados a obtener una mejor sociedad (Gobierno e Instituciones); la calidad del sistema educativo y la disponibilidad de mano de obra cualificada (educación); y la eficiencia en los sistemas de transferencia de conocimiento de la infraestructura hacia las empresas y de las empresas a las empresas (interacciones). Es realmente importante subrayar que nuestros resultados son similares a los obtenidos por Fagerberg y Srholec (2008), usando variables y fuentes diferentes, lo cual refuerza los resultados y sustenta especialmente la teoría.

6. CONCLUSIONES

Nuestro estudio presenta un enfoque para abordar los principales vacíos en la literatura de los SNI: el problema de especificar las fronteras o límites de los SNI y la falta de una conexión teórica con la empírica. Para dicho propósito, nuestro estudio tomó una muestra de 55 países y construyó un índice de SNI basado en un análisis factorial de 28 variables vinculado a la teoría consultada. La evidencia empírica muestra que las estrategias empresariales, la infraestructura tecnológica, gobierno e instituciones, educación y interacciones son los principales componentes de los SNI, aunque si el enfoque holístico seguido en la teoría es tenido en cuenta, es difícil afirmar que no existan otros factores que conduzcan esta misma cuestión, tal como remarcó Edquist (2008). Los resultados convergen con los obtenidos por Fagerberg y Srholec (2008) y, por tanto, nuestra investigación contribuye a expandir la base teórica de los SNI sobre una base empírica.

- Los resultados de la presente investigación contribuyen al entendimiento de los fundamentos teóricos y a reforzar la conexión entre la parte teórica y la empírica de los SNI. Estas contribuciones representan avances para la Academia.
- Nuestra investigación también tiene una implicación directa para los policymakers, ya que el estudio detallado de los factores permite definir e implementar políticas de innovación más acertadas.
- Es también pertinente para los empresarios, porque marca las pautas de las variables o actividades en las que deben incidir

REFERENCIAS

- Abramovitz, M. (1986). "Catching up, forging ahead, and falling behind". *Journal of Economic History*, Vol. 46, No. 2, pp. 386-406.
- Barro, R.J., y Sala-i-Martin, X. (2003). *Economic Growth*. 2th. edition, The MIT Press Cambridge, MA.
- Edquist, C., y Johnson, B. (1997). *Institutions and Organisations in Systems of Innovation*. En Edquist, C. Eds. *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. Pinter Publishers, London. (pp. 41-63). (republished in Edquist, C. and McKelvey, 2000).
- Bergek, A., and Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., y Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, Vol. 37, No. 3, pp. 407-429.

- Chaminade, C., y Edquist, C. (2005). *From Theory to practice: The use of the Systems of Innovation. Approach in Innovation Policy*. En Hage, J. and Meeus, M. (Eds.). *Innovation, science, and institutional change* (pp. 141-162). Oxford: Oxford University Press.
- Edquist, C. (2005). *Systems of Innovation. Perspectives and Challenges*. En (eds.) Fagerberg, J., Mowery, D., y Nelson, RR. *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford Publishers, Oxford.
- Fagerberg, J., y Srholec, M. (2008). “National Innovation Systems, Capabilities and Economic Development”. *Research Policy*, Vol. 37, No. 9, pp. 1417-1435.
- Furman, J.L., Porter, M.E., y Stern, S., (2002). “The determinants of national innovative capacity”. *Research Policy*, Vol. 31, No. 8, pp. 899–933.
- Galli, R., y Teubal, M. (1997). *Paradigmatic shifts in national innovation systems*. London: Printer Publishers.
- Hair, J.F. Jr, Anderson, R.E., Tatham, L.T., y Black, W.C. (1995). *Multivariate Data Analysis*, 4th ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Hekkert, M.P., y Negro, S.O. (2009). “Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims”. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, pp. 4, pp. 584-594.
- Hervas, J.L., y Dalmau, J.I., (2007). “Which IC components explain national IC stocks?”. *Journal of Intellectual Capital*, Vol. 5, No. 3, pp. 444-469.
- Institute for Management Development (2004). *The World Competitiveness Yearbook*, Institute for Management Development, Lausanne.
- Johnson, A., Jacobsson, S., (2003). *The emergence of a growth industry: a comparative analysis of the German, Dutch and Swedish Wind Turbine Industries*. En: Metcalfe, S., y Cantner, U. (Eds.), *Transformations and Development: Schumpeterian Perspectives*. Physical/Springer, Heidelberg.
- Liu, X., y White, S. (2001). “Comparing innovation systems: a framework and application to China’s transitional context”. *Research Policy*, Vol. 30, No. 7, pp. 1091–1114.
- Lundvall, B.Å., (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers, London.
- Nelson, R. (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford University Press, New York.
- Nelson, R. (2008). “What enables rapid economic progress: What are the needed institutions?”. *Research Policy*, Vol. 37, No. 1, pp. 1-11.
- Porter, M. (2001). *The Business Competitiveness Index, The Global Competitiveness Report*, World Economic Forum, Geneva.
- Romer, P.M. (1990). “Endogenous technological change”. *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, pp. 71–102.
- Sala-i-Martin, X. y Artadi, E.V. (2004). *The global competitiveness index, The Global Competitiveness Report*, World Economic Forum, Geneva.

ANEXO. Descripción de indicadores utilizados en el análisis empírico.

VARIABLE	DESCRIPTION
Total expenditure on R&D	Percentage of GDP
Basic research	Basic research does enhance long-term economic development
Higher education achievement	Percentage of population that has attained at least tertiary education for persons 25-34
Total R&D personnel in business per capita	Full-time work equivalent (FTE) per 1000 people
Total R&D personnel nationwide per capita	Full-time work equivalent (FTE) per 1000 people
Technological cooperation	Technological cooperation between companies is developed
Employee training	Employee training is a high priority in companies
Knowledge transfer	Knowledge transfer is highly developed between companies and universities
Venture capital	Venture capital is easily available for business development
Total public expenditure on education per capita	US\$ per capita
International transactions	International transactions can be freely negotiated with foreign partners
Competition legislation	Competition legislation is efficient in preventing unfair competition
Image abroad	The image abroad of your country encourages business development
Brain drain	Brain drain (well-educated and skilled people) does not hinder competitiveness in your economy
Justice	Justice is fairly administered
Intellectual property rights	Intellectual property rights are adequately enforced
Bureaucracy	Bureaucracy does not hinder business activity
Sustainable development	Sustainable development is a priority in companies
Development and application of technology	Development and application of technology are supported by the legal environment
Qualified engineers	Qualified engineers are available in your labor market
Youth interest in science	Youth interest in science is strong
Competent senior managers	Competent senior managers are readily available
University education	University education meets the needs of a competitive economy
Educational system	The educational system meets the needs of a competitive economy
Entrepreneurship	Entrepreneurship of managers is widespread in business
Flexibility and adaptability	Flexibility and adaptability of people are high when faced with new challenges
Pupil-teacher ratio (secondary education)	Ratio of students to teaching staff
Pupil-teacher ratio (primary education)	Ratio of students to teaching staff

Fuente: Elaboración propia a partir del IMD.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.