

## Dinámica de transición y distribución de la innovación en los países de América Latina: 2006-2017\*

### Dynamics of Transition and Distribution of Innovation in the Countries of Latin America: 2006-2017

*Luis Gutiérrez Flores \*\*, Alba Verónica Méndez Delgado\*\*\* y Jonathan Flores Pérez\*\*\*\**

#### RESUMEN

La presente investigación examina la distribución y dinámica de transición de la innovación en América Latina para el periodo 2006-2017. El objetivo principal del documento es conocer si el proceso dinámico de innovación en la región tiene un patrón que apunta hacia la convergencia, o si, por el contrario, presenta un comportamiento heterogéneo. Se utilizan técnicas no paramétricas de creciente aceptación como alternativas para estudiar las desigualdades regionales: las cadenas de Markov y las funciones de densidad kernel. Los resultados indican que el desarrollo de la innovación en la región no es homogéneo y en el largo plazo las economías latinoamericanas no convergen a un solo equilibrio estable. La distribución en los esfuerzos de innovación se encuentra polarizada en la región.

**Palabras clave:** Innovación, cadenas de Markov, estratificación, polarización, separación.

**Clasificación JEL:** C16, O30, O54, R12.

#### ABSTRACT

This research examines the distribution and dynamics of transition from innovation in Latin America for the period 2006-2017. The main objective of the paper is to know if the dynamic process of innovation in the region has a pattern that points to the convergence or if on the contrary it shows a heterogeneous behavior. Non-parametric techniques of growing acceptance as alternatives are used to study regional inequalities: Markov chains and the density Kernel functions. The results indicate that the development of innovation in the region is not homogeneous and in the long run the Latin American economies do not converge to a single stable equilibrium. The distribution in innovation efforts is polarized in the region.

**Keywords:** Innovation, Markov chains, stratification, polarization, separation.

**JEL Classification:** C16, O30, O54, R12.

---

\* Fecha de recepción: 01/11/2018. Fecha de aceptación: 31/03/2020.

\*\* Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, México. E-mail: luis.gutierrez@uadec.edu.mx. ORCID: 0000-0003-3127-5843.

\*\*\* Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, México. E-mail: albamendez@uadec.edu.mx. ORCID: 0000-0001-9958-1025.

\*\*\*\* Centro de Investigaciones Socioeconómicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, México. E-mail: jonathan.flores@uadec.edu.mx. ORCID: 0000-0001-5537-2862.

## INTRODUCCIÓN

En un ambiente internacional caracterizado por enfrentar reiteradas crisis económicas se vuelve trascendental el papel que desempeña la innovación como factor potencial del desarrollo regional. En la década de los noventa, con el surgimiento de la teoría del crecimiento endógeno, la innovación retomó un lugar importante al considerarse un elemento endógeno al sistema económico (Romer, 1986, 1990; Lucas, 1988; Barro y Sala-i-Martin, 1990; Aghion y Howitt, 1992; Freeman, 1993 y Grossman y Helpman, 1994). Desde entonces se posicionó en el centro de los temas relevantes de los investigadores de la ciencia económica, así como de los formuladores de política pública. No obstante, dadas las brechas tecnológicas de los países y regiones en el mundo, se reflejan diferencias importantes en la generación, la gestión, la difusión, la apropiación y la aplicación de la innovación, relacionadas con las propias características del entorno en que se desarrollan.

La innovación científica y tecnológica es el mecanismo capaz de hacer que el crecimiento y desarrollo económicos de los países subdesarrollados puedan acelerarse, incluso podría sacarlos de la condición de subdesarrollo (Montoya, 2004). Por ello es relevante examinar las capacidades y particularidades tecnológicas de las regiones, pero aún más de aquellas formadas mayormente por países subdesarrollados, ya que a pesar de la importancia de la innovación en el crecimiento, es paradójico que las inversiones en esta materia sigan siendo escasas y en algunas regiones del mundo, nulas.

Desde esta perspectiva se analiza la región latinoamericana, la cual, además de poseer una débil estructura de innovación para generar su propio progreso tecnológico, es objeto de una marcada heterogeneidad en esta materia que la caracteriza como la región más desigual del mundo. Mientras Brasil destina poco más del 1 por ciento del PIB al gasto en I+D, Guatemala y Honduras no alcanzan el 0.1 por ciento. Sobre lo anterior, el Banco Interamericano de Desarrollo (2011) destaca que a diferencia de las economías desarrolladas donde la mayoría de los países continúa aumentando la inversión en innovación tecnológica, en América Latina las iniciativas para mejorar esta inversión se concentran en unos pocos países.

En los últimos años se han presentado avances en materia de institucionalidad en I+D, sin embargo, han sido muy heterogéneos, e incluso en muchos casos los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI) se encuentran en etapas incipientes de desarrollo. Mientras que algunos países cuentan con un amplio abanico de instrumentos (Argentina, Brasil, Chile, México y Uruguay), otros, como El Salvador o Guatemala, se concentran en un par de elementos (Rivas y Rovira, 2014). Por lo tanto, el pobre esfuerzo que se realiza en materia de innovación parece explicar ciertos desafíos que enfrenta la región: los bajos niveles

de crecimiento económico y una heterogeneidad tecnológica que no favorece la convergencia entre los países que la conforman.

Dado que los trabajos empíricos sobre convergencia utilizan mayoritariamente modelos econométricos, una aportación de la presente investigación es la propuesta de una metodología alternativa, no paramétrica, que hace uso de las cadenas de Markov. Esta técnica aplicada a la innovación es nula en la región, aunque como se verá, resulta promisoria y eficaz para inquirir y formular explicaciones alternativas a las predominantes.

En el debate sobre convergencia es común utilizar el ingreso *per cápita* como variable dependiente. Un trabajo clásico es el de Barro y Sala-i-Martin (1990), quienes encuentran evidencia en favor de la convergencia, afirmando que el ingreso *per cápita* y el producto en los estados pobres tienden a crecer más rápido que en los estados ricos, sin embargo, argumentan que la tasa de convergencia no es rápida dado que la brecha disminuye aproximadamente en un 2 por ciento anual.

No obstante, esa perspectiva no facilita escudriñar en las razones de la enorme disparidad que prevalece en los países y regiones del mundo en cuanto a la innovación. Por lo que en esta investigación se busca responder a las siguientes preguntas: ¿los países de América Latina han realizado esfuerzos para alcanzar niveles similares de innovación en los últimos años?; ¿existe una tendencia o patrón que indique que los países latinoamericanos se están acercando a niveles similares de innovación? Para responder a estas preguntas, se analiza la dinámica en la distribución de la innovación en los países de la región latinoamericana, con un enfoque metodológico no paramétrico, al tenor de lo realizado por Quah (1993a, 1993b y 1996). Se aborda la discusión a partir de los índices de innovación elaborados por el Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés). El objetivo es determinar si en el periodo 2006-2017 el proceso dinámico de distribución de la innovación en la región tuvo un patrón que apunta hacia la convergencia, o si, por el contrario, presentó un comportamiento heterogéneo. De esta manera, la hipótesis a comprobar es la siguiente: *la dinámica de la innovación permite observar un comportamiento polarizado mediante la formación de grupos con características similares de innovación haciendo más grande la divergencia en esta materia entre los países de la región en los últimos años.*

El artículo se desarrolla en cinco secciones. Después de la introducción se presentan los trabajos más recientes en la región sobre el papel de la innovación en el crecimiento. La segunda sección se enfoca en la explicación de la metodología de los procesos de Markov como alternativa para estudiar las disparidades regionales. En la tercera se realiza una breve contextualización de la distribución de la innovación en América Latina en los últimos 12 años. En la sección cuarta se presenta el procedimiento de estimación. El apartado cinco aborda la aplicación empírica

y los resultados sobre la dinámica de transición de la innovación para la región. Finalmente, se presentan las principales conclusiones del trabajo.

## I. ANTECEDENTES EMPÍRICOS SOBRE LA INNOVACIÓN EN AMÉRICA LATINA

Una de las limitaciones más importantes de la investigación sobre innovación en la región es la falta de una fuente de datos y la ausencia de indicadores armonizados y comparables entre los diferentes países. En su mayoría, las aplicaciones empíricas que examinan este concepto en la región utilizan datos a nivel empresa basados en encuestas realizadas dentro de los países. Además, un gran porcentaje de estos trabajos se enfocan en el análisis de un pequeño grupo de países que por su dinámica de innovación cuentan con información, por lo que es difícil encontrar evidencia empírica sobre la totalidad de los países que conforman la región latinoamericana.

Un estudio reciente que analiza el impacto de la innovación tecnológica en el crecimiento económico de América Latina es el de Aali y Venegas (2016), quienes para una muestra de 12 países de la región (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Paraguay, Perú y Uruguay) examinan esta relación en el periodo 1996-2008. Los autores concluyen que el proceso de innovación tecnológica tiene un impacto positivo en el crecimiento de la región. El principal hallazgo es que la inversión en I+D, las patentes y las exportaciones de productos con alto contenido tecnológico son relevantes para elevar la productividad total de los factores y el aumento del PIB *per cápita* en la mayoría de los países.

Sobre el particular, Castellacci y Natera (2016) analizaron las trayectorias de desarrollo de largo plazo para 18 economías de América Latina en el periodo 1970-2010. El trabajo está basado en tres dimensiones principales: apertura, estructura industrial e innovación. La combinación específica y los cambios en estos factores en cada país afectan el crecimiento del ingreso *per cápita*. El trabajo concluye con dos resultados principales: primero, se muestra que los países de América Latina han seguido diferentes trayectorias de crecimiento dependiendo de la combinación de políticas que han adoptado, y, segundo, se encuentra una clara correspondencia entre las estrategias de política, por un lado, y el desempeño del crecimiento, por el otro.

Lo más importante a destacar para efectos de esta investigación es que los países que han logrado combinar la política de imitación e innovación han experimentado una mayor tasa de crecimiento que aquellas economías que sólo han hecho esfuerzos para mejorar su capacidad de imitación. En este contexto, en siete de los 18 países de América Latina, los cambios en el rendimiento de la innovación

(medidos por patentes) han tenido un efecto positivo en la tasa de crecimiento del PIB *per cápita*. El impacto estimado más fuerte es para la serie temporal de Chile y la República Dominicana. Éste es un hallazgo interesante, ya que a pesar de que las políticas industriales y tecnológicas han sido escasas en la región, las inversiones relativamente bajas en actividades innovadoras se relacionan de manera positiva con el crecimiento (lento) del ingreso *per cápita* en la zona.

En esta misma línea, Suárez y Erbes (2016) examinan el impacto de los esfuerzos en innovación y las capacidades en el crecimiento económico para 94 países incluyendo a las economías latinoamericanas objeto de esta investigación. Las autoras prueban la hipótesis de convergencia y especificidad en materia de desarrollo, en particular, que la inversión en I+D y los recursos humanos calificados impactan positivamente en el crecimiento económico, pero dicho impacto es mayor en los países desarrollados por la naturaleza de sus sistemas de innovación. Los resultados de este trabajo confirman la relación positiva entre la inversión en innovación y el crecimiento económico independientemente del nivel de desarrollo. No obstante, el impacto resulta ser mayor para los países de mayor ingreso que para los de menor ingreso, rechazando así la hipótesis de convergencia. En este contexto las autoras consideran a Chile y Uruguay dentro de los países con ingreso alto.

Por otro lado, bajo la inquietud de que en las últimas décadas el crecimiento económico de Chile ha sido más alto que el de Brasil y México, Saucedo y Borges (2015) analizan la relación de la innovación y el crecimiento económico en estos tres países. Aunque reconocen que el crecimiento económico no sólo se explica por la innovación, sino que existen otros factores que lo determinan, los autores examinan si las diferencias en el crecimiento corresponden a la brecha de innovación entre los países seleccionados.

En el análisis utilizan variables de innovación como el porcentaje de emprendedores, la tasa de crecimiento de las patentes y la colaboración universidad-industria. Dado que estas variables son más altas en Chile y menores en Brasil y México, los autores concluyen que la innovación está relacionada positivamente con el crecimiento económico a mediano y largo plazo. Por lo tanto, el mayor crecimiento económico que Chile ha experimentado en las últimas décadas es impulsado por la innovación. No obstante, los autores hacen hincapié en que el gasto en I+D como porcentaje del PIB en Chile es alrededor de 1 por ciento más bajo que el de Brasil, lo que demuestra que los vínculos entre la innovación y el crecimiento económico son complejos.

El mismo interés llevó a Raffo, Lhuillery y Miotti (2008) a realizar una comparación del papel de la innovación y el desempeño económico entre países europeos y latinoamericanos utilizando datos a nivel empresa de Francia, España, Suiza, Argentina, Brasil y México. Los autores aplicaron un modelo estructural estándar

vinculando la intensidad en I+D, la innovación y la productividad. Sus principales hallazgos muestran que existen diferencias estructurales entre regiones, pero también hay heterogeneidad en el interior de ellas (sobre este particular, los autores encontraron un impacto significativo de la innovación de productos sobre el desempeño económico para Brasil y México, pero no para Argentina). Por otro lado, mostraron que las empresas tienden a enfrentar actividades de innovación para lograr un mejor desempeño económico en las dos regiones, no obstante, para los países latinoamericanos su interacción con los sistemas y entornos nacionales es más débil que en los países europeos.

## II. MÉTODO: LAS CADENAS DE MARKOV

La interpretación de las cadenas de Markov tiene como objetivo estimar la dinámica de alguna distribución (Gutiérrez *et al.*, 2011). En este trabajo se examina la distribución de la innovación en función de las probabilidades de transitar del estado  $i$  al  $j$  y del número de iteraciones que se realicen. De acuerdo con Taha (2012), un proceso estocástico es un proceso de Markov si un estado futuro depende sólo del estado inmediatamente anterior.<sup>1</sup> Esto significa que dados los tiempos cronológicos  $t_0, t_1, \dots, t_n$ , la familia de variables aleatorias  $\{X_{t_n}\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  es un proceso de Markov si

$$P\{X_{t_n}=x_n \vee X_{t_{n-1}}=x_{n-1}, \dots, X_{t_0}=x_0\} = P\{X_{t_n}=x_n \vee X_{t_{n-1}}=x_{n-1}\} \quad (1)$$

En un proceso de Markov con  $n$  estados exhaustivos y mutuamente excluyentes, las probabilidades en un punto específico del tiempo  $t=0, 1, 2, \dots$  se definen como

$$P_{ij} = P\{X_t=j \vee X_{t_{n-1}}=i\} \quad i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n; t=0, 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

La ecuación 2 se conoce como probabilidad de transición en un paso al ir del estado  $i$  en el instante  $t-1$  al estado  $j$  en el instante  $t$ , donde  $p_{ij} \geq 0$ , además, por definición, se debe saber que:

$$\sum_i p_{ij} = 1, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

<sup>1</sup> Un proceso estocástico es un concepto matemático que se utiliza para manejar magnitudes aleatorias que varían con el tiempo. Es una sucesión de variables aleatorias que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo.

Por lo tanto, las probabilidades de transición de un estado a otro en un periodo se establecen utilizando una matriz cuadrada ( $n \times n$ ) denominada matriz de transición, como se muestra a continuación:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

La matriz de transición anterior define una cadena de Markov. Dicha matriz tiene las siguientes propiedades: [1] todas sus probabilidades de transición  $p_{ij}$  son estacionarias; [2] son independientes a lo largo del tiempo; [3] no contienen elementos negativos ( $p_{ij} \geq 0$ ), y [4] sus filas suman la unidad debido a que los elementos de la  $i$ -ésima fila representan las probabilidades de todas las posibilidades de transición a partir de ese estado.

En los procesos markovianos también se obtiene un vector de estado inicial que se denota como:

$$a^{(0)} = (a_1^{(0)} \ a_2^{(0)} \dots \ a_n^{(0)}) \quad (5)$$

Éste se define como la probabilidad de que el sistema se encuentre en el estado  $j$  en el periodo de observación  $t$ . Es decir, el vector indica las probabilidades del estado inicial (0). Sus componentes son no negativos y suman uno. De esta manera, el elemento  $a_n^{(0)}$  indica la proporción de observaciones que inicialmente se encuentran en el estado  $j$ .

## II.1. Vector de probabilidades de estado estacionario

Por otro lado, dada la matriz de transición  $P$  de una cadena de Markov y el vector de estado inicial  $a^{(0)} = \{a_j^{(0)}, j=1, 2, \dots, n\}$  las probabilidades absolutas  $a^{(n)} = \{a_j^{(n)}, j=1, 2, \dots, n\}$  después de  $n$  ( $> 0$ ) transiciones se calculan como sigue:

$$\begin{aligned} a^{(1)} &= a^{(0)}P \\ a^{(2)} &= a^{(1)}P = a^{(0)}P^2 \\ a^{(3)} &= a^{(2)}P = a^{(0)}P^3 \end{aligned} \quad (6)$$

⋮

$$a^{(n)} = a^{(0)}P^n \quad (7)$$

La ecuación 7 expresa que cuando la matriz de transición  $P$  se multiplica a sí misma  $n$  veces y posteriormente por el vector de estado inicial, el resultado muestra un vector que expresa la probabilidad de encontrarse en cada uno de los estados después de  $n$  pasos. Por tanto, la matriz de transición y el vector de estado inicial determinan los demás vectores de estado posibles. De esta forma, el modelo markoviano puede llegar a converger alcanzando el equilibrio de largo plazo mediante un vector de estado estacionario. Para que esto sea posible, el proceso debe ser regular, es decir, al elevar la matriz de transición a cualquier potencia, sus elementos deben ser positivos (Kolman y Hill, 2006).

## II.2. Clasificación de los estados en una cadena de Markov

Los estados de una cadena de Markov se clasifican con base en la probabilidad de transición  $P_{ij}$  de  $P$ .

1. Un estado  $j$  es **absorbente** si está seguro de regresar a sí mismo en una transición, es decir,  $P_{ij}=1$ .
2. Un estado  $j$  es **transitorio** si puede llegar a otro estado, pero no puede regresar desde otro estado.
3. Un estado  $j$  es **recurrente** si la probabilidad de ser revisitado desde otros estados es 1. Esto puede suceder si, y sólo si, el estado no es transitorio.
4. Un estado  $j$  es **periódico** con periodo de  $t>1$  si es posible un retorno sólo en  $t$ ,  $2t$ ,  $3t$ ,... pasos.

En una cadena ergódica las probabilidades de estado estable se definen como

$$\pi_j = \lim_{n \rightarrow \infty} a_j^{(n)}, j=0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

Estas probabilidades son independientes de  $y$  se pueden determinar de la siguiente ecuación:

$$\pi = \pi P \quad (9)$$

Donde:  $\sum_j \pi_j = 1$

La ecuación 9 expresa que las probabilidades  $\pi$  permanecen sin cambiar después de una transición adicional, razón por la que representan la distribución del estado estacionario.

Las probabilidades absolutas después de  $n$  transiciones  $a^{(n)} = a^{(0)}p^n$  siempre convergen de forma única a una distribución limitante (estado estacionario) que es independiente de las probabilidades iniciales  $a^{(0)}$ .

De esta manera, una distribución ergódica debe satisfacer la siguiente expresión:

$$\pi^*(I-P)=0 \quad (10)$$

Al transponer la ecuación 10, se tiene:

$$(I-P)\pi' = 0 \quad (11)$$

Lo cual determina  $\pi^*$  como un eigenvector asociado con una unidad de eigenvalor de  $P$ .<sup>2</sup> Dado que  $P$  es una matriz estocástica, garantiza el hecho de que por lo menos tiene un eigenvalor unitario así como un  $\pi^*$  que satisface las ecuaciones 10 y 11. Por lo tanto, si cada entrada de la matriz  $P$  es estrictamente positiva, existe una única distribución ergódica llamada distribución estacionaria (Gutiérrez *et al.*, 2011). Por lo tanto, de acuerdo con Quah (1993a, 1993b, 1996 y 1997), las características de la distribución ergódica  $\pi^*$  son cruciales para analizar la existencia de convergencia. Si la citada distribución es unimodal, entonces no se puede rechazar la hipótesis de convergencia porque, asintóticamente, todas las regiones se encontrarán centradas en torno a un valor común. Por el contrario, dicha hipótesis deberá ser rechazada si la distribución ergódica es multimodal. Además agrega que una distribución bimodal es un caso particular que indica la presencia de atractores locales de las regiones que definirían “clubes de convergencia”, formados por regiones ricas y pobres (en términos relativos).

### II.3. *Funciones de densidad*

Una parte fundamental de las cadenas de Markov es la representación de la transición por medio de funciones de densidad kernel. Estas gráficas capturan las variaciones de la distribución de la innovación de forma continua, y la comparación en el tiempo permite detectar los cambios sobre dicha distribución.

Siguiendo a Newbold, Carlson y Thorne (2008), una función de densidad permite relacionar una probabilidad a cada observación de una determinada variable.

---

<sup>2</sup> Un eigenvector es un vector característico o vector propio de una matriz  $A$ .

Sea  $X$  una variable aleatoria continua y  $x$  cualquier número situado en el rango de valores que puede tomar esta variable aleatoria. La función de densidad,  $f(x)$ , de la variable aleatoria es una función que tiene las siguientes propiedades:

1.  $f(x) > 0$  para todos los valores de  $x$ .
2. El área situada debajo de la función de densidad,  $f(x)$ , cuando se abarcan todos los valores de la variable aleatoria,  $X$ , es igual a 1.
3. La función de distribución acumulada,  $F(x|0)$ , es el área situada debajo de la función de densidad de probabilidad,  $f(x)$ , hasta  $x_0$ :

$$F(x|0) = \int_{x_m}^{x_0} f(x)dx \quad (12)$$

Donde  $x_m$  es el valor mínimo de la variable aleatoria.

En la presente investigación se usará la función de densidad tipo Gauss-kernel  $K(x)$ . Siguiendo a Silverman (1986), el estimador de la función es:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (13)$$

donde,

$$\begin{aligned} x &= x + h \forall x \in X \\ x_i &= x - h \forall x_i \in X \end{aligned}$$

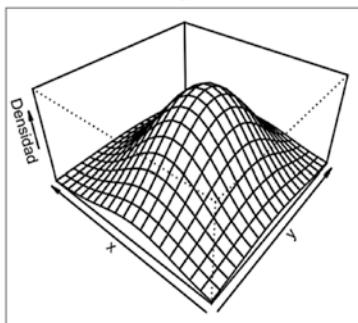
$h$ = ancho de banda o parámetro suavizador

$n$ = número de observaciones

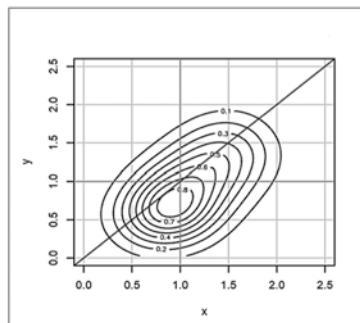
Las gráficas de distribución kernel son un instrumento útil en la detección de detalles como la oblicuidad y la multimodalidad de las observaciones. En la figura 1 a) se presenta la gráfica de una función de densidad kernel gaussiana bivariante, mientras que la figura 1 b) muestra los niveles de la densidad y permite observar la concentración o dispersión de los datos.

Figura 1. *Función de densidad kernel bivariante.*

a) Perspectiva



b) Contornos



Fuente: Gutiérrez *et al.*, (2011).

Así, una mayor concentración de la distribución implica un acercamiento (convergencia) entre las unidades económicas en estudio, mientras que la dispersión sugiere divergencia. Comparando distintas distribuciones o funciones de densidad para los distintos períodos se puede obtener una visión de cuál ha sido la evolución de las disparidades, es decir, si ha existido o no un proceso de convergencia (Betancourt, 2013).

### III. DISTRIBUCIÓN DE LA INNOVACIÓN EN AMÉRICA LATINA

El análisis comparativo entre los países de América Latina se realiza utilizando los índices de innovación del periodo 2006-2017. Se cuenta con información para cada país a partir de la base de datos histórica del Foro Económico Mundial. Se consideró analizar la distribución inicial y final, así como de años intermedios para identificar las diferencias y observar la evolución de la innovación en los países de la región. Las tendencias se observan en los siguientes mapas (1, 2, 3 y 4).<sup>3</sup> La distribución se ve reflejada de acuerdo con los diferentes tonos: conforme se incrementa la tonalidad se indica que los países presentan mayor nivel de innovación. La heterogeneidad y los cambios en los niveles de innovación se observan a lo largo de los cuatro años seleccionados. En 2006, los países con mayor índice de innovación fueron Costa Rica, Brasil y Chile, mientras que los menos favorecidos fueron Paraguay, Bolivia, Honduras y Ecuador. En 2010,

<sup>3</sup> Los años considerados son 2006, 2010, 2014 y 2017.

la distribución de la innovación se mantuvo relativamente en la misma tendencia, aunque con pequeños cambios al observarse una mejora en el índice de innovación de Honduras y Guatemala, al tiempo que El Salvador y Nicaragua empeoraron su situación de innovación. En 2014, se aprecia un cambio brusco en el patrón antes observado, ya que países como Brasil, Venezuela y Perú tuvieron un descenso en sus índices de innovación; por otro lado, sorprende el caso de El Salvador que se ubicó dentro de los países con un mayor coeficiente. Para el último año del estudio (2017), Chile y Costa Rica fueron los “más innovadores”; Brasil, Argentina y Colombia se ubicaron en un rango medio, mientras que Nicaragua y Venezuela mantuvieron los índices más bajos.

Si consideramos el periodo 2006-2017, existen países como Paraguay, Nicaragua y Venezuela que durante los 12 años se mantuvieron en el rango más bajo de innovación. En un nivel intermedio destacan Argentina, México y Colombia, mientras que en los niveles más altos se agrupan Brasil, Panamá, Costa Rica y Chile (los dos últimos sobresalen por haberse mantenido en el nivel más alto de innovación durante todo el periodo). Lo anterior brinda elementos para reafirmar la idea sobre la caracterización de los “clubes de convergencia”, aproximándonos a probar la hipótesis de formación de grupos con características similares de innovación dentro de los países de la región.

Mapa 1. *Innovación 2006.*



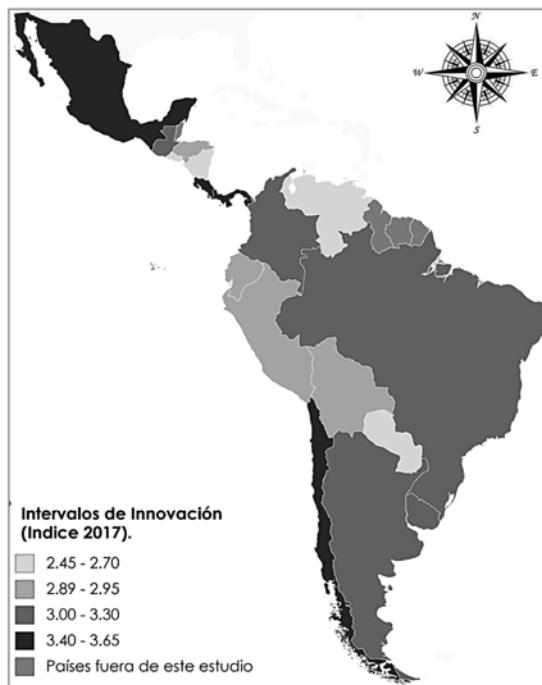
Mapa 2. *Innovación 2006.*



Mapa 3. *Innovación 2014.*



Mapa 4. *Innovación 2017.*



Los mapas anteriores permiten tener una perspectiva sobre las diferencias en la distribución de la innovación entre los países de América Latina. No obstante, se vuelve más interesante observar el comportamiento de dicha distribución en el tiempo y evaluar si la innovación presenta un patrón hacia la convergencia (es homogénea en la región), o si, por el contrario, está concentrada en unos pocos países. Para ello se plantea analizar la dinámica de transición de la innovación entre los países de un año a otro.

#### IV. PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN

Para examinar la transición de la innovación, es necesario construir el vector de estado inicial, la matriz de transición, la matriz de segundo estado de transición, así como el vector de las probabilidades del estado estacionario. El análisis se complementa con la construcción de gráficas de densidad kernel, las cuales permiten tener una perspectiva visual de dicha transición.

El vector de estado inicial  $[a^{(0)}]$  se construyó a partir del número de países que en el año inicial (2006) se encontraron en cada estado de la distribución divididos entre el total de los países en la muestra.<sup>4</sup> El vector indica la probabilidad de que el sistema se encuentre en cada uno de los estados en la etapa inicial, por lo que además de presentar la distribución inicial de los países dentro de las distintas categorías de innovación, brinda una primera aproximación de la formación de grupos con características similares de innovación.<sup>5</sup> El vector de estado inicial se construyó tomando en cuenta la distribución de los países en cada estado de innovación en 2006. La matriz de transición se realizó seleccionando el coeficiente de innovación del año 2006 de cada país. El procedimiento se detalla a continuación:

- Se ordenaron los índices de innovación del año en cuestión de menor a mayor para después compararlos con el segundo año, con ello se observa la transición de la innovación de 2006 a 2017.
- A partir del promedio regional de los índices se estableció una clasificación mediante la construcción de intervalos o rangos de los índices de innovación.<sup>6</sup> Esto permitió obtener el peso de los países sobre dicho promedio, para así posicionar a cada uno de ellos dentro de uno de los cuatro estados asignados de acuerdo con su índice de innovación,<sup>7</sup> que se denominaron Bajo, Medio-Bajo, Medio-Alto y Alto.
- Se realiza una comparación entre los países de acuerdo con el intervalo al que pertenecían en el año inicial y con el intervalo al que se trasladaron en el año final (puede o no haber cambio).

---

<sup>4</sup> En este estudio se consideran 17 economías: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela.

<sup>5</sup> Para efectos del presente análisis hablar de estado es hacer referencia a una posición dentro de la clasificación en la distribución.

<sup>6</sup> Se consideraron tres puntos de corte para segmentar los países en los cuatro estados de la distribución de acuerdo con los índices de innovación. El segundo corte se estableció en la unidad; el tercero se definió considerando el promedio de aquellos países con un peso regional mayor a la unidad, mientras que el primer corte se obtuvo con el promedio de los países con un peso regional menor. Nótese que con la construcción de los tres puntos de corte se pudo clasificar a cada país dentro de las categorías Bajo, Medio-Bajo, Medio-Alto y Alto, según sus índices de innovación.

<sup>7</sup> En general, el nivel de innovación en la región es escaso en comparación con los países desarrollados; no obstante, para fines de esta investigación, los países de la muestra fueron clasificados dentro de cuatro rangos de innovación según los índices proporcionados por el Foro Económico Mundial.

- Los pasos anteriores permiten elaborar la matriz de transición en función del número de países que permanecieron en el mismo estado y de los que cambiaron de posición. Una vez elaborada la matriz de transición debe tenerse en cuenta que la suma de las filas es igual a la unidad.
- La diagonal principal de las matrices de transición permite determinar si hubo, o no, cambios de un estado a otro entre los países considerados en la muestra.

Con el fin de tener una perspectiva visual de la dinámica de transición, se estimaron las gráficas de densidad kernel como una alternativa no paramétrica que permite observar la dinámica distributiva de la innovación de forma continua. Con ello se robustecen los resultados que se obtienen de la matriz de transición. El tipo de función kernel utilizado es el de tipo normal-bivariante realizado con el Software RStudio (2018). Para la construcción de las funciones de densidad se hace uso de la misma información proporcionada en la base de datos histórica del Foro Económico Mundial de los países considerados en este trabajo.

La matriz del segundo estado de transición indica la probabilidad de que un país cambie de intervalo en el siguiente periodo, en este caso, en los siguientes 12 años. Así, el segundo estado de transición permite realizar una proyección de la distribución de la innovación en los países de la región para cualquier estado en un tiempo futuro (Gutiérrez *et al.*, 2011).

Posteriormente, el vector de estado estacionario describe las probabilidades fijas en las que converge el proceso de Markov cuando  $n \rightarrow \infty$ . Estas probabilidades se definen como:

$$\pi_j = \lim_{n \rightarrow \infty} a_j^{(n)}, j = 0, 1, 2, \dots$$

las cuales surgen de multiplicar  $a^0 P^n$ .

Donde:

$a^0$ =vector de estado inicial

$P$ = matriz de transición

La multiplicación  $a^0 P^n$  indica que después de una transición adicional, las probabilidades  $\pi$  permanecen sin cambio, por ello representan la distribución de estado estacionario. En este estudio el vector de estado estacionario converge a cinco decimales e indica el comportamiento de la distribución en el largo plazo, si las condiciones iniciales se mantienen constantes.

## V. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El vector de estado inicial correspondiente a 2006 (cuadro 1) indica que un 24 por ciento de los países de América Latina se encuentra en el rango más bajo de innovación. Hay una proporción similar de países (29 por ciento) que están en un nivel Medio-Bajo y Medio-Alto, mientras que en el nivel más alto de innovación de la región se encuentra un 18 por ciento. También se puede entender de la siguiente manera: existe una menor probabilidad de mejorar el nivel de innovación en la región, pues en el rango más alto se encuentra sólo el 18 por ciento de los países considerados en el estudio.

Cuadro 1. *Vector de estado inicial, 2006.*

Año 2006	Estado			
	Bajo	Medio-Bajo	Medio-Alto	Alto
	0.24	0.29	0.29	0.18

Fuente: elaboración y cálculos propios con base en datos del WEF.

La matriz de transición registra la distribución de los países según su probabilidad condicional de estar en determinado nivel de innovación y de mantenerse ahí en el siguiente periodo o desplazarse a algún otro nivel. La dinámica de transición 2006-2017 de la innovación entre los países de la región se refleja en la matriz de transición del cuadro 2. Dado que las cifras dentro de la matriz de transición indican las probabilidades de permanecer en el mismo estado, el primer elemento de la matriz muestra que existe un 25 por ciento de probabilidad de que los países que iniciaron en un nivel bajo de innovación se mantengan en ese mismo nivel y un 75 por ciento de probabilidad de moverse hacia un nivel más alto dado que comenzaron en el nivel más bajo de la región. Para el nivel Medio-Bajo de innovación se percibe una probabilidad baja de mantenerse (20 por ciento), un 60 por ciento de trasladarse a un nivel más bajo, mientras que las probabilidades de mejorar apenas son del 20 por ciento.

Así, la matriz de transición muestra que los menores rangos de innovación (Bajo y Medio-Bajo) presentan bajas probabilidades de mantenerse en su posición inicial, lo que podría indicar que los países con niveles más bajos de innovación en la región se encuentran en una condición más volátil a los cambios que enfrentan sus economías en esta materia.

Cuadro 2. *Matriz de transición, 2006-2017.*

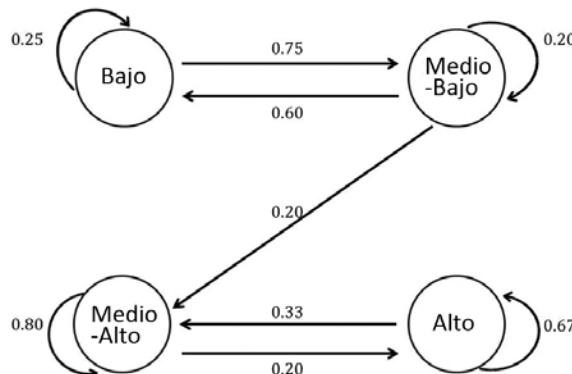
Núm. Países	Intervalos	Bajo	Medio-Bajo	Medio-Alto	Alto
4	Bajo	0.25	0.75	0	0
4	Medio-Bajo	0.60	0.20	0.20	0
5	Medio-Alto	0	0	0.80	0.20
3	Alto	0	0	0.33	0.67

Fuente: elaboración y cálculos propios con base en datos del WEF.

Por su parte, las economías que se encuentran en los rangos de innovación más altos en la región presentan mayores probabilidades de mantenerse en los niveles iniciales (Medio-Alto y Alto). Para el caso del nivel Medio-Alto la probabilidad de mantenerse es del 80 por ciento con una probabilidad de mejorar del 20 por ciento. Para el nivel más alto de innovación la probabilidad de permanencia es del 67 por ciento, mientras que las probabilidades de pasar al Medio-Bajo son apenas del 33 por ciento. Estos resultados indican que los países con niveles más altos de innovación en la región permanecieron con estos niveles durante el periodo analizado.

La información que proporciona la matriz de transición del cuadro 2 también se puede describir mediante el diagrama de transición de estados de la figura 2. En el diagrama, los cuatro estados posibles de innovación se representan por medio de los cuatro nodos (círculos). Las flechas muestran las transiciones posibles de un estado a otro según la dinámica de la innovación y el número junto a cada una de ellas proporciona la probabilidad de que ocurra dicha transición.

Figura 2. *Diagrama de transición de estados de innovación.*



Fuente: elaboración propia.

El diagrama de transición muestra que los estados son recurrentes, esto quiere decir que después de haber salido de un estado, el proceso definitivamente regresará a ese estado. Las flechas nos indican que los estados Bajo y Medio-Bajo se comunican entre sí; lo mismo sucede con Medio-Alto y Alto. Con los resultados se demuestra que hay una probabilidad del 20 por ciento de que un país que inicialmente se encuentra en alguno de los dos primeros estados pueda escalar a un mayor nivel de innovación, pero no sucede lo contrario, es decir, no hay probabilidades de que un país que en un principio se encuentra en el nivel Medio-Alto y Alto transite hacia un nivel más bajo de innovación. Lo anterior refuerza la idea de la existencia de una polarización de los países de los niveles de innovación en la región.

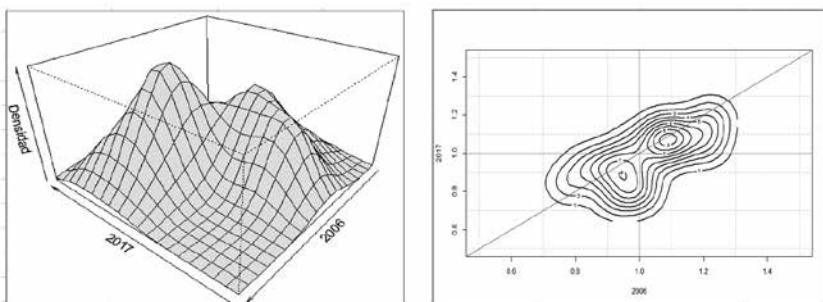
La perspectiva y los contornos del periodo se muestran en la figura 3 a) y b). Se aprecia la formación de dos picos que representan dos aglomeraciones en materia de innovación conformadas por los países considerados en el estudio. El proceso de Markov para esta transición sugiere que las probabilidades de permanencia para el nivel más bajo de innovación fueron menores que las de mejorar. Así, en la transición 2006-2017 el único país que inició y permaneció en ese intervalo fue Paraguay, mientras que Ecuador, Bolivia y Honduras mejoraron su situación de innovación y pasaron al rango inmediatamente mayor (Medio-Bajo).

Para el segundo intervalo las posibilidades fueron contrarias: mientras que las posibilidades de permanecer y mejorar fueron del 20 por ciento, las de empeorar fueron del 60 por ciento; en este contexto, Perú fue el único país que inició ahí y se mantuvo. Guatemala mejoró su situación de innovación. Los tres países que empeoraron y pasaron al nivel más bajo de innovación fueron Nicaragua, Venezuela y El Salvador.

Figura 3. Función de densidad kernel, 2006-2017.

### a) Perspectiva

### b) Contornos



Fuente: elaboración propia con base en datos del WEF

Como se observó en las matrices de transición, los rangos más altos de innovación en la región presentaron una alta probabilidad de persistencia en el periodo. El nivel Medio-Alto destacó una probabilidad del 80 por ciento, los países que se mantuvieron en dicho intervalo durante 2006-2017 fueron Argentina, México, Colombia y Uruguay, mientras que Panamá pasó al nivel más alto. En cuanto al nivel más alto de innovación, éste presentó una probabilidad de permanencia del 67 por ciento, y en este sentido los países que sobresalieron por su buen desempeño en innovación fueron Chile y Costa Rica.

De esta manera, se observa la formación de dos grupos de países representados por las dos elevaciones que se aprecian en la gráfica de densidad kernel de la figura 3 a). Esta información se refuerza con la figura 3 b) que representa los contornos de éstas. Los países que conforman el pico (elevación) que constituye a los dos rangos más bajos de innovación son: Paraguay, Bolivia, Honduras, Ecuador, Nicaragua, El Salvador, Venezuela y Perú. Las economías que representan al grupo con mayor índice de innovación son: Uruguay, Argentina, México, Colombia, Guatemala, Panamá, Chile, Brasil y Costa Rica.

La matriz de segundo estado de transición se presenta en el cuadro 3. La matriz es una proyección de lo que sería la dinámica de distribución en 2029. Se destaca que la mayoría de los países se ubicaría en los rangos intermedios de innovación. Se espera con una probabilidad del 51 por ciento que los países que iniciaron en el nivel Bajo de innovación permanezcan en él, además, existe un 34 por ciento de probabilidad de transitar al nivel de innovación inmediatamente superior (Medio-Bajo).

Para el segundo intervalo de innovación las probabilidades de permanecer son mayores (49 por ciento), aunque pueden transitar a un nivel más alto con probabilidad del 20 por ciento. Para los niveles más altos de innovación las probabilidades de permanencia son mayores, aunque los países que se encuentran en el nivel Alto podrían pasar a un rango inmediatamente inferior con una probabilidad del 49 por ciento.

Cuadro 3. Matriz de segundo estado de transición, 2006-2017.

Núm. Países	Intervalos	Bajo	Medio-Bajo	Medio-Alto	Alto
4	Bajo	0.51	0.34	0.15	0
5	Medio-Bajo	0.27	0.49	0.20	0.04
5	Medio-Alto	0	0	0.71	0.29
3	Alto	0	0	0.49	0.51

Fuente: elaboración y cálculos propios con base en datos del WEF.

Por lo tanto, si se considera la distribución inicial y la dinámica actual de innovación en la región, se esperaría que en los próximos 12 años (debido el espacio temporal de este estudio) el entorno de la innovación tuviera un patrón muy similar al observado, dado que las probabilidades de permanencia en los cuatro rangos de clasificación son mayores que las probabilidades de transitar a cualquier otro estado en la distribución. Es decir, en el próximo periodo se observa una tendencia fuerte a permanecer en los niveles iniciales de innovación entre los países de la región.

El vector de estado estacionario constituye un indicio en favor de la convergencia o la divergencia de la siguiente manera: si un vector presenta un único máximo (unimodal), entonces se estará sugiriendo la convergencia de las unidades en un determinado estado. Si la distribución es bimodal o multimodal, esto se traducirá como una tendencia a la polarización (Villaverde y Sánchez-Robles, 2001).

En este contexto, Quah (1997) sostiene que una distribución bimodal es un caso particular que indica la presencia de atractores locales de las regiones que definirían los “clubes de convergencia”, pero este resultado no es sinónimo de convergencia, sino más bien representa un proceso de polarización que indica la asociación entre regiones productivamente distantes o polarizadas.

El vector de probabilidades de largo plazo se muestra en el cuadro 4. De esta manera, si se considera la distribución inicial de los países según su nivel de innovación en el periodo 2006-2017, se logra la estabilización de la distribución después de 107 transiciones. Dicha distribución muestra que ya no existe concentración de países en los dos niveles más bajos de innovación, sino que el cien por ciento estará en los dos niveles más altos. Al tiempo que el nivel Medio-Alto abarca al 65 por ciento de los países, el 35 por ciento estaría en el nivel más alto.

Cuadro 4. *Probabilidades de estado estacionario, 2006-2017.*

Periodo	Bajo	Medio-Bajo	Medio-Alto	Alto	Transiciones
2016-2017	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.6250 (11)	0.3750 (6)	107

**Fuente:** elaboración y cálculos propios con base en datos del WEF.

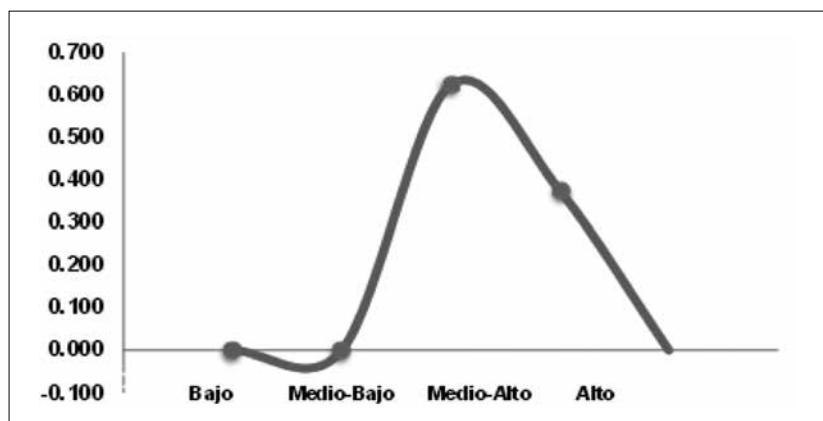
Lo anterior brinda elementos para destacar que los países con un menor nivel de innovación convergerían en el nivel Medio-Alto y aquellos que inicialmente se encontraban en éste transitarían hacia el nivel más alto de innovación en la región. De acuerdo con esta estructura, en el largo plazo no existirían países ubicados en los rangos más bajos de innovación.

Por ello es importante subrayar que el comportamiento en los niveles de innovación en los países de la región no es homogéneo. Hay evidencia de que

los países más ricos alcanzarán mayores niveles de innovación, mientras que el resto permanecerá en un nivel intermedio. En otras palabras, en el largo plazo las economías latinoamericanas no alcanzarán a converger a un solo equilibrio estable, sino que se polariza la distribución.

Esta lógica también se puede analizar desde la figura 4. Dado que los dos primeros niveles de innovación ya no agrupan países, el surgimiento de dos modas confirma que la distribución del vector de estado estacionario conlleva una distribución bimodal. La totalidad de los países se concentraría en los dos niveles más altos de innovación. Por un lado, 11 países se albergarían en el nivel Medio-Alto, mientras que el nivel Alto concentraría seis países.

Figura 4. *Distribución del vector de estado estacionario, 2006-2017.*



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

La presente investigación se planteó como objetivo profundizar en el conocimiento de las disparidades en materia de innovación entre los países de América Latina. Para ello se formuló la siguiente hipótesis: *la dinámica de la innovación permite observar un comportamiento polarizado mediante la formación de grupos con características similares de innovación haciendo más grande la divergencia en esta materia entre los países de la región en los últimos años.*

Para probar la hipótesis se estudió la dinámica de la distribución a través de cadenas de Markov. Se utilizaron las gráficas de densidad kernel con el objetivo de contar con una perspectiva visual en tres dimensiones. Los resultados permiten concluir que las economías de América Latina con los niveles más bajos

de innovación tienen un alto grado de movilidad hacia otro estado en la distribución (mayormente entre los niveles bajos). Estas economías cuentan con estructuras tecnológicas débiles, por lo tanto, están expuestas a que cambios repentinos en sus políticas de innovación las vuelvan más vulnerables a transitar más rápido de un estado a otro en la distribución. Los países dentro del nivel más bajo de innovación que tuvieron mayores probabilidades de mejorar su estado en la distribución fueron Honduras, Guatemala, El Salvador y Ecuador.

Por otro lado, se comprobó que la probabilidad de permanencia es más alta en los países que tienen un mayor índice de innovación. Vale la pena resaltar que existen países que destacaron por su nivel de innovación durante el periodo completo, situación que los llevó a permanecer en el nivel más alto, estos fueron: Chile y Costa Rica. Mientras que en el nivel Medio-Alto permanecieron México, Argentina, Colombia y Uruguay.

La información del vector de estado estacionario muestra que en el largo plazo los países de América Latina transitarán hacia mayores niveles de innovación. No obstante, seguirá permaneciendo la tendencia hacia la polarización en este rubro, ya que después de realizar las interacciones del estado estacionario, las economías que durante la transición permanecieron en los niveles Bajo y Medio-Bajo pasaron a formar parte del nivel Medio-Alto, mientras que los países que se mantuvieron en los niveles Alto y Medio-Alto se concentraron en el nivel más alto para así formar dos grupos o “clubes de convergencia” que se observaron en el vector de estado estacionario. El resultado no es sinónimo de convergencia, sino que representa una fase de polarización compuesta en los dos niveles más altos de innovación, lo cual representa la interacción de economías tecnológicamente distantes o polarizadas.

Con lo anterior, no puede ser rechazada la hipótesis planteada en esta investigación. Se considera que persiste una heterogeneidad en los esfuerzos de innovación en la región, situación que se agudiza al observar que en los próximos años la tendencia apunta hacia un patrón similar a la actual coyuntura tecnológica en la región.

Los resultados ponen en evidencia que el desarrollo de la innovación en América Latina no es homogéneo entre las economías. De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (2011), los países más pequeños y pobres en la región a menudo no tienen un marco institucional para la ciencia y la tecnología, a excepción de unas pocas universidades, y sus empresas medianas o pequeñas usualmente no tienen cultura o capacidad de I+D.

Por otro lado, la evidencia empírica indica que los países en América Latina han adoptado políticas de innovación miméticas, es decir, han implementado estrategias de innovación de los países desarrollados, pero esta forma de adaptación ha complicado aún más su capacidad de innovar porque no todas las economías

tienen la misma estructura tecnológica. Por lo tanto, este punto sea tal vez de mayor importancia ya que les resulta más difícil subsanar errores de política en innovación costosos.

Por ello, es importante el establecimiento de relaciones productivas y bien coordinadas entre las empresas, los centros de investigación, las universidades y los gobiernos, para enfocar sus políticas en ciencia, tecnología e innovación en aquellos sectores en los cuales se tengan ventajas competitivas, sin imitar políticas de innovación, dado que los resultados de esta implementación pueden ser más beneficiosos si se vinculan con los sectores económicos más desarrollados en la región.

La heterogeneidad observada abre oportunidades para el ejercicio de la cooperación horizontal. En América Latina, los gobiernos de los países con mayor nivel de innovación pueden colaborar mediante la generación de alianzas estratégicas con los países tecnológicamente más rezagados, lo que implica que éstos deben tomar como referencia las experiencias en ciencia, tecnología e innovación de los países más avanzados en la región.

Por ejemplo, Chile, Brasil, Argentina y México, que durante el periodo de estudio permanecieron en los niveles más altos de innovación, han apostado por políticas de apoyo a los centros de excelencia, becas para estudiantes universitarios de grado y posgrado en ciencia y tecnología, vínculos con investigadores nacionales en el exterior, fondos de tecnología y competitividad, incentivos fiscales para investigación y desarrollo, fondos sectoriales, programas de áreas de prioridad, mesas de tecnología, cámaras de innovación, entre otros.

Por lo tanto, con el fin de cerrar o disminuir la enorme brecha de innovación en la región, las economías con menores índices de innovación deberían tomar como referencia los instrumentos o mecanismos de innovación que los países técnicamente más avanzados en esta área han desarrollado en los últimos años, puesto que esto los ha mantenido con indicadores más altos de innovación según la información del Foro Económico Mundial.

Finalmente, reconocemos que el criterio de clasificación de los estados o rangos de innovación fue de tipo discrecional, lo que conlleva la posibilidad de perder información y a su vez condicionar los resultados. No obstante, los resultados de esta investigación son consistentes con las investigaciones de organismos internacionales como la Cepal, el BID y la OEI cuando se indaga sobre las disparidades en ciencia, tecnología e innovación entre los países de la región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aali Bujari, Alí, y Venegas, Francisco (2016), "Technological Innovation and Economic Growth in Latin America", *Revista Mexicana de Economía y Finanzas. Nueva Época/Mexican Journal of Economics and Finance*, vol. 11, núm. 2, pp. 77-89.
- Aghion, Philippe y Howitt, Peter (1992), "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica* 60, no. 2, pp. 323-351.
- Barro, Robert J. (1990), "Government Expenditure in a Simple Model of Endogenous Growth", *Journal of Political Economy*, vol. 98, núm. 5, pp. 103-125.
- Barro, Robert y Sala-i-Martin (1990), "Economic Growth and Convergence across The United States", National Bureau of Economic Research, working paper no. 3419.
- Betancourt, María H. (2013), *Dinámica de la distribución de la renta en las provincias de Ecuador: un análisis no paramétrico*, tesis de maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, Ecuador.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) (2011), *Ciencia, Tecnología e Innovación en América Latina y el Caribe: Un compendio estadístico de indicadores* (ed.), Washington, D. C., Banco Interamericano de Desarrollo.
- Castellacci, Fulvio y Natera, José Miguel (2016), "Innovation, absorptive capacity and growth heterogeneity: Development paths in Latin America 1970-2010", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 37, pp. 27-42.
- Crespi, Gustavo y Zúñiga, Pluvia (2012), "Innovation and Productivity: Evidence from Six Latin American Countries", *World Development*, vol. 40, núm. 2, pp. 273-90.
- Crespi, Gustavo; Tacsir, Ezequiel y Vargas, Fernando (2016), "Innovation Dynamics and Productivity: Evidence for Latin America", en Grazzi, Matteo y Pietrobelli, Carlo (eds.), *Firm Innovation and Productivity in Latin American and the Caribbean*. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.
- Freeman III, Myrick (1993), *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, RFF Press.
- Germán-Soto, Vicente y Gutiérrez, Luis (2013), "Assessing Some Determinants of the Regional Patenting: An Essay from the Mexican States", *Scientific Research*, núm. 43, pp. 1-9.
- Grossman, Gene y Helpman, Elhanan (1994), "Endogenous Innovation in the Theory of Growth", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 8, no. 1, pp. 23-44.
- Gutiérrez, Luis; Méndez, Alba Verónica y Reyes, José Refugio (2011), "La movilidad y la distribución del ingreso en los municipios de Coahuila", *Región y Sociedad*, XXIII (52), pp. 131-171.

- Kolman, Bernard y Hill, David (2006), *Álgebra lineal*. Editorial Pearson Educación, México.
- Lucas, Robert (1988), “On the Mechanics of Economic Development”, *Journal of Monetary Economics*, 22, pp. 3-42.
- Montoya, Omar (2004), “Schumpeter, innovación y determinismo tecnológico”, *Scientia et Technica*, vol. 2, núm. 25, pp. 209-213.
- Mora, Antonio (2002), *Aspectos teóricos y análisis empírico para las regiones europeas y españolas*, tesis doctoral, Universidad de Barcelona, España.
- Newbold, Paul; Carlson, William y Thorne, Betty (2008), *Estadística para administración y economía*, 6<sup>a</sup>. ed., Editorial Prentice Hall, España.
- Quah, Danny (1993a), “Empirical Cross-section Dynamics in Economic Growth”, *European Economic Review*, vol. 37, pp. 426-434.
- (1993b), “Galton’s fallacy and tests of the convergence hypothesis”, *The Scandinavian Journal of Economics*, vol. 95, núm. 4, pp. 427-443.
- (1996), “Twin Peaks: Growth and Convergence in Models of Distribution Dynamics”, *The Economic Journal*, vol. 106, núm. 473, pp. 1045-1055.
- (1997), “Empirics for Growth and Distribution: Stratification, Polarization, and Convergence Clubs”, *Journal of Economic Growth*, vol. 2, pp. 27-59.
- Quilis, Enrique (1997), *Convergencia de la productividad en España, un análisis dinámico de su distribución regional*, manuscrito del Instituto Nacional de Estadística, Madrid. Disponible en: <http://www.ine.es/daco/daco42/daco4214/cbtc13.pdf>, consultado el 12 de octubre de 2012.
- Raffo, Julio; L’huillier, Stéphane y Miotti, Luis (2008), “Northern and Southern Innovativity: A Comparison across European and Latin American Countries”, *The European Journal of Development Research*, vol. 20, núm. 2, pp. 219-239.
- Rivas, Gonzalo y Rovira, Sebastián (2014), *Nuevas instituciones para la innovación: Prácticas y experiencias en América Latina*, Cepal, Santiago de Chile.
- Romer, Paul (1986), “Increasing Returns and Long-run Growth”, *The Journal of Political Economy*, vol. 94, núm. 5, pp. 1002-1037.
- (1990), “Endogenous Technological Change”, *Journal of Political Economy*, vol. 98, núm. 5, pp. 71-102.
- Saucedo, Edgar y Borges, Marisol (2015), “Innovation and economic growth in Latin American emerging countries: the case of Mexico, Brazil and Chile”, *International Journal of Management Science and Business Administration*, vol. 2, núm. 4, pp. 17-27.
- Silverman, Bernar W. (1986), *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Londres-Nueva York, Chapman and Hall.

Software RStudio (2018).

Suárez, Diana y Erbes, Analía (2016), “Innovación, capacidades y desempeño económico. Un análisis de convergencia entre países en el marco de los Sistemas de Innovación”, en Guzmán, Alenka; Yoguel, Gabriel y Llamas, Ignacio (coords.), *Innovación en América Latina. Argentina, Colombia y México*, Biblioteca Nueva, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México, pp. 23-78.

Taha, Hamdy, A. (2012), *Investigación de operaciones*, 9<sup>a</sup>. ed., Pearson educación, México.

Villaverde, José y Sánchez-Robles, Blanca (2001), “Polarización, convergencia y movilidad entre las provincias españolas: 1955-1997”, *Revista Asturiana de Economía*- RAE, núm. 20, pp. 7-26.

WEF (2017), *The Global Competitiveness Report 2006-2017*, Geneva: World Economic Forum. Base de Datos Histórica. Disponible en: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018>.