

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i5.1351>

Modelización de los factores que caracterizan las actividades de innovación en los países de América Latina

Modeling of the factors that characterize the innovation level in Latin America countries

Jonathan Flores Pérez

jonathan.flores@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5537-2862>

Universidad Autónoma de Coahuila

Saltillo, Coahuila – México

Artículo recibido: 30 de octubre de 2023. Aceptado para publicación: 16 de noviembre de 2023.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

La presente investigación aplica el Análisis de Componentes Principales (ACP) para examinar las actividades de innovación más destacadas en América Latina. Este método es útil para eliminar la correlación presente en los datos originales, proponiendo nuevas variables que no están correlacionadas entre sí. Se demuestra que con un número reducido de variables se captura la mayor parte de la información inicial. Los resultados obtenidos muestran que las principales actividades de innovación que restringen el crecimiento económico en la región incluyen la baja inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) tanto por parte del sector privado como del sector gubernamental, la limitada producción científica, el bajo número de instituciones dedicadas a la investigación científica y la escasa solicitud de patentes.

Palabras clave: innovación, crecimiento económico, investigación y desarrollo (i+d), patentes

Abstract

This research applies Principal Component Analysis (PCA) with the purpose of examining the most outstanding innovation activities in Latin America. This method is used to eliminate the correlation present in the original data, proposing new variables that no correlated with each other. It is demonstrated that with a reduced number of these variables, most of the initial information can be captured. The results obtained show that the main innovation activities restricting economic growth in the region include low investment in Research and Development (R&D) by both the private and government sectors, limited scientific production, a low number of institutions dedicated to scientific research, and a low number of patent applications.

Keywords: innovation, economic growth, research and development (r&d), patents

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . 

Como citar: Flores Pérez, J. (2023). Modelización de los factores que caracterizan las actividades de innovación en los países de América Latina. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 4(5), 728–747. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i5.1351>

INTRODUCCIÓN

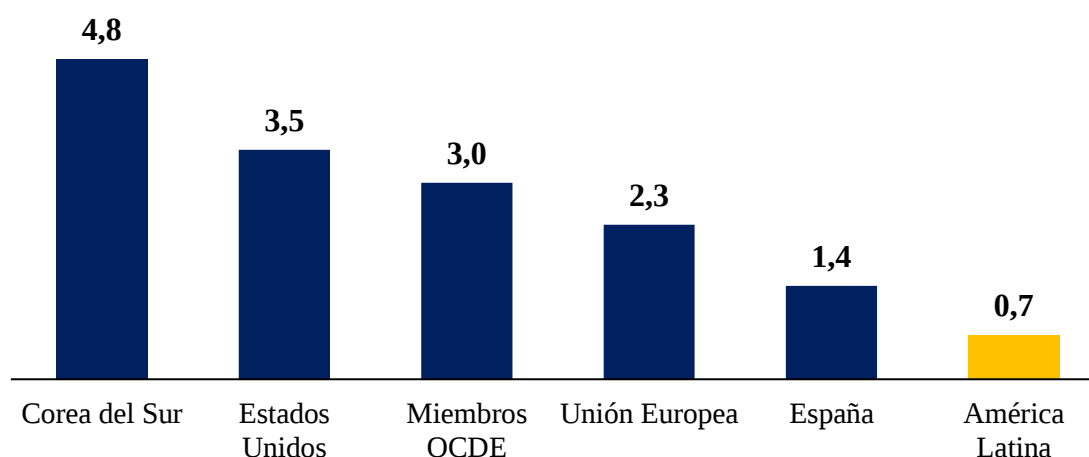
¿Cuáles son las actividades de innovación que limitan el bajo crecimiento económico de América Latina? ¿Cuál es el grado de heterogeneidad de innovación en los países de la región? La innovación es clave para el desarrollo económico y social de los países. En América Latina, la promoción de la innovación se ha convertido en una prioridad para impulsar el crecimiento, la productividad y la competitividad. En este sentido, la innovación científica y tecnológica posee el potencial para impulsar el crecimiento y el desarrollo económico en naciones subdesarrolladas, e incluso podría ayudarles a superar su estado de subdesarrollo.

Sin embargo, América Latina enfrenta desafíos significativos, como la brecha tecnológica, la baja inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) y la falta de infraestructura adecuada. Los retos en materia de innovación dificultan el aprovechamiento de las oportunidades económicas y, por lo tanto, mejorar la calidad de vida de los habitantes. Bajo esta perspectiva se analiza la región la cual posee una débil estructura de innovación para generar su propio progreso tecnológico.

Estadísticas del Banco Mundial revelan que en 2020 América Latina apenas invertía el 0.7 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) en investigación y desarrollo (I+D), muy por debajo de Corea del Sur que destina el 4.8 por ciento, Estados Unidos con 3.5 por ciento y los países miembros de la OCDE, 3.0 por ciento (Figura 1). Esto evidencia el bajo desempeño en los esfuerzos de innovación que predomina en la región.

Gráfico 1

Gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB, 2020



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial. Indicadores del Desarrollo Mundial.

Esta consideración implica realizar investigaciones sobre las tareas más destacadas en materia de innovación para comprender y abordar los factores que limitan el desarrollo de América Latina. Al analizar los impulsores y las barreras de la innovación en la región, podemos identificar oportunidades y estrategias para fomentar un entorno propicio para la creación y adopción de innovaciones.

Así, el objetivo general de la investigación es analizar y comprender las principales actividades de innovación en América Latina para identificar los factores clave y las tendencias que impulsan o limitan el desarrollo de la innovación en la región. Se realiza un Análisis de Componentes Principales para

reducir la complejidad y dimensión de la información relacionada con la innovación identificando patrones, relaciones y variables relevantes que puedan explicar la dinámica de la innovación en la región.

Este objetivo se basa en la premisa de que comprender los determinantes de la innovación en América Latina es fundamental para promover un entorno propicio que fomente el desarrollo tecnológico, la productividad y la competitividad. Al identificar los componentes principales y sus implicaciones, se busca generar conocimientos que sean aplicables y útiles para los responsables de la toma de decisiones, los gobiernos, las empresas y otros actores interesados en promover la innovación en América Latina.

Los objetivos específicos que encauzan esta investigación son los siguientes:

- Aplicar el Análisis de Componentes Principales (ACP) para obtener una representación más compacta de las actividades de innovación más importantes en América Latina.
- Estudiar las diferencias y similitudes en los patrones de innovación entre los países de América Latina utilizando los resultados del análisis de componentes principales.

De esta manera, la hipótesis que guiará el curso de este trabajo es la siguiente: “El bajo desempeño de América Latina en actividades de innovación está relacionado con una combinación de factores, incluyendo un bajo gasto en investigación y desarrollo (I+D) como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB), la debilidad de las instituciones de investigación científica, la falta de una producción significativa de publicaciones científicas de calidad y la escasa cantidad de patentes registradas en la región.”

Los resultados de este trabajo podrán proporcionar información valiosa para los responsables de la toma de decisiones, los gobiernos, las empresas y otros actores clave interesados en promover la innovación en la región. Los hallazgos podrían ayudar a desarrollar políticas y estrategias efectivas que impulsen la inversión en investigación y desarrollo, fomenten la colaboración entre los sectores público y privado, mejoren la transferencia de tecnología y promuevan la cultura de la innovación en la región.

Marco teórico y evidencia empírica

En economía, la teoría de crecimiento endógeno se centra en entender cómo ciertos factores internos como la innovación y el capital humano impulsan el crecimiento económico de largo plazo. A diferencia de las teorías anteriores, esta perspectiva sostiene que el progreso tecnológico y el conocimiento son el resultado de las decisiones y actividades económicas internas de los países.

Romer (1990) resalta la importancia de la inversión en investigación tecnológica, como determinante del crecimiento a largo plazo. Señala que el cambio tecnológico aporta el incentivo necesario para la acumulación continua de capital por lo que, en conjunto son responsables de gran parte del incremento de la productividad. Bajo la misma temática, Freeman (1993) afirma que los países con un alto índice de competitividad son los que invierten en inversión y desarrollo, ciencias básicas y aplicadas, inversión en equipos y formación de recursos humanos.

Por su parte, Grossman y Helpman (1994) argumentan que la innovación sostiene la acumulación de capital y el crecimiento y, defienden el valor del capital humano en el largo plazo, por lo que una economía con mayor mano de obra podría emprender más I+D generando una mayor tasa de productos innovadores. Sobre esta temática, Lucas (1988), destaca el importante papel del capital humano como motor de crecimiento de los países, haciendo notar las externalidades del capital humano como un bien de acumulación.

Adicionalmente, trabajos empíricos recientes sobre la innovación en América Latina abonan al campo de esta investigación. Por ejemplo, Olmedo-Carranza (2015) realiza una comparación de las políticas industriales, tecnológicas y de innovación entre los países Latinoamericanos (caso expreso de México) y Corea del Sur, partiendo de la hipótesis de que el éxito coreano descansa en la relevancia del papel abiertamente proactivo y proteccionista del Estado en el proceso de industrialización.

El trabajo se aplica desde una perspectiva del Estado y de toda la importancia que este tiene para que los avances tecnológicos e industriales puedan realizarse con éxito, tomando como herramientas principales la planeación y planificación del crecimiento, para que este no sobrepasa su capacidad, la política de financiamiento y la política fiscal, para así poder definir el rumbo de la industria. Aunque el autor señala la intervención del Estado como fundamental y la marca como su diferenciador principal, también señala que es importante recordar que para que el proceso de innovación e industrialización sea exitoso son necesarias otras políticas e instrumentos de política pública como el financiamiento al desarrollo, y las políticas en la industria, tecnología y educación.

Grigera y Nava (2021), analizan las distintas tendencias que determinan el futuro del trabajo en América Latina; haciendo hincapié en revisar la hipótesis que pone el impacto del cambio tecnológico en el centro de la explicación de los cambios en el futuro del trabajo. Los autores concluyen que debido a la estructura del sistema laboral de los países Latinoamericanos donde los niveles de informalidad son altos, la tendencia a que los impactos de la automatización e innovación tendrán un alcance limitado llegando solo a una reconfiguración de los sectores informales existentes. Probablemente el futuro del trabajo en América Latina esté encaminado a que se incremente el subempleo y a que los trabajos sean de menor calidad y con mayor inseguridad laboral, de tal manera que se creará una migración de los trabajadores hacia los empleos menos productivos del sector de servicios.

Por otro lado, Gutiérrez y Flores (2019) analizaron la relación de equilibrio de largo plazo en América Latina y encontraron una relación positiva y significativa entre la innovación y la apertura comercial, el gasto en I+D a nivel empresa, la formación en educación superior, la capacidad de innovación, la absorción de tecnología empresarial y la protección a la propiedad intelectual.

En este trabajo se destacó que, aunque la protección a la propiedad intelectual tiene un impacto mucho menos significativo que otras variables sobre la innovación, las empresas se sienten motivadas a realizar más inversiones cuando se cuenta con un adecuado marco regulatorio.

Para estudiar la distribución de la innovación tecnológica en América Latina, Gutiérrez, Méndez y Flores (2020) realizaron un trabajo con el propósito de conocer si el proceso dinámico de innovación tiende a converger o, por el contrario, ser más desigual. Los resultados presentan que los países con niveles bajos de innovación presentan altos grados de movilidad de un nivel de innovación hacia otro, y los cambios repentinos en las políticas de innovación los hacen más vulnerables a este proceso de migración debido a sus estructuras tecnológicas débiles; mientras que los países con un índice mayor de innovación la probabilidad de permanencia es más alta.

Por otro lado, los autores evidencian que el desarrollo de la innovación en las economías latinoamericanas no es homogéneo, los países pequeños y pobres no tienen marcos institucionales para la ciencia y la tecnología; y los países que han implementado estrategias de innovación de los países desarrollados han complicado aún más su capacidad de innovar.

METODOLOGÍA

La base de datos se construyó con información del Foro Económico Mundial (World Economic Forum, WEF), particularmente de la base de datos que comprende la construcción de los índices de competitividad mundial. La tarea se concentró en conjuntar información relativa a las actividades que

desempeñan los países de América Latina en materia de innovación. Para este estudio se tomaron en cuenta las 17 economías latinoamericanas que cuentan con información disponible sobre las variables que se describen en el Cuadro 1. Para medir la agregación de las variables, cada indicador se convierte en una puntuación sin unidades absolutas, que va de 0 a 100 utilizando una transformación min-máx.

Existen otras variables que no se obtienen de fuentes secundarias, es decir no existe un “dato duro” en una base de datos específica. Estas variables se obtienen de la Encuesta de Opinión Ejecutiva del WEF, que tiene como objetivo recopilar información y perspectivas de líderes empresariales y ejecutivos de todo el mundo sobre diversos temas económicos y sociales.

Tabla 1

Variables utilizadas en el estudio

Variable	Fuente
Diversidad de la fuerza laboral	Foro Económico Mundial, Encuesta de Opinión Ejecutiva
Desarrollo de clústers	Foro Económico Mundial, Encuesta de Opinión Ejecutiva
Co-inversiones internacionales	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), STI Micro-data Lab: Base de datos de propiedad intelectual
Colaboración de múltiples partes	Foro Económico Mundial, Encuesta de Opinión Ejecutiva
Publicaciones científicas	SCImago, Journal & Country Rank (http://www.scimagojr.com/countryrank.php , consultado el 16 de junio de 2019).
Patentes	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), STI Micro-data Lab: Base de datos de propiedad intelectual
Gasto en I+D como % PIB	Banco Mundial, base de datos de Indicadores de Desarrollo Mundial
Instituciones de Investigación	Cálculos del Foro Económico Mundial basados en SCImago (https://www.scimagoir.com).
Sofisticación del consumidor	Foro Económico Mundial, Encuesta de Opinión Ejecutiva
Solicitudes de marcas	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, base de datos estadísticos de la OMPI

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El método de componentes principales (ACP) transforma de un conjunto de variables originales correlacionadas $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ nuevas variables no correlacionadas $(y_1, y_2, \dots, y_n)$, reduciendo la dimensión del conjunto original. Las nuevas variables se denominan componentes principales, y_j ($j = 1, \dots, n$) y, son resultado de combinaciones lineales de las variables originales, es decir:

$$y_j = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jn}x_n = a_j^0 x$$

Siendo $a_j^0 = (a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn})$ un vector de constantes, y $x = [x_1 \dots x_n]$

La combinación lineal implica:

$$\sum_{j=1}^n a_{j1}^2 = 1$$

Las nuevas variables o componentes principales (y_j) se ordenan en función de la varianza explicada, de modo que:

$$s^2(y_1) \geq s^2(y_2) \geq \dots \geq s^2(y_n)$$

La obtención del primer componente implica seleccionar a_1 de modo que, y_1 tenga la mayor varianza posible, sujeta a la restricción de la ecuación 2. El segundo componente principal se calcula obteniendo a_2 de manera que la variable obtenida, y_2 no esté correlacionada con y_1 .

De la misma manera se calculan $(y_1, y_2, \dots, y_n)$, no correlacionados entre ellos, de manera que las variables aleatorias obtenidas vayan teniendo cada vez menor varianza (ecuación 3).

En este sentido, se seleccionan los componentes principales que recogen la mayor parte de la variabilidad de los datos, hecho que permite representar los datos según dos o tres dimensiones si se conservan dos o tres ejes factoriales.

Características de los componentes principales

Reducción de dimensionalidad: Reducen la dimensionalidad de los datos al generar un conjunto más pequeño de variables, que capturan la mayor parte de la variabilidad en los datos originales.

Independencia: Se calculan de tal manera que son ortogonales entre sí, es decir, son independientes. Esto significa que no existe correlación entre ellos.

Varianza: Están ordenados en función de su varianza. El primer componente principal captura la mayor cantidad de varianza en los datos, el segundo componente principal captura la siguiente mayor cantidad de varianza, y así sucesivamente.

Representatividad: Cada componente principal es una combinación lineal de las variables originales. Esto significa que cada componente principal tiene un peso asociado a cada variable original, lo que permite interpretar la contribución de cada variable en la formación de ese componente principal.

Eliminación de correlación: Los componentes principales permiten eliminar la correlación entre las variables originales al transformar los datos en nuevos ejes ortogonales. Esto puede ser útil en análisis posteriores, ya que reduce la multicolinealidad y evita problemas asociados con la correlación.

Número óptimo de componentes principales

Dada una matriz de datos de dimensiones $n \times p$, el número de componentes principales que se pueden calcular es como máximo de $n-1$ o p (el menor de los dos valores es el limitante). Sin embargo, siendo el objetivo del PCA reducir la dimensionalidad, suelen ser de interés utilizar el número mínimo de componentes que resultan suficientes para explicar los datos.

Las técnicas que pueden ayudar al investigador en la determinación del número óptimo de componentes principales se muestran a continuación:

Valor propio o criterio de Kaiser: Los valores propios representan la cantidad de varianza explicada por cada componente principal. El criterio de Kaiser sugiere conservar solo los componentes

principales con valores propios mayores que 1, ya que estos explican más varianza que una variable original.

Gráfico de varianza explicada acumulada: El gráfico de la varianza explicada acumulada en función del número de componentes principales es de utilidad. Se busca un punto de inflexión donde agregar más componentes no aporta significativamente a la varianza explicada.

Método del codo (Scree plot): Similar al gráfico de varianza explicada acumulada, se traza un gráfico de los valores propios en función del número de componentes principales. Se busca el punto en el que la pendiente disminuye significativamente, formando un "codo". El número de componentes antes de ese codo puede considerarse como el número óptimo.

Validación externa: Si el análisis de componentes principales se utiliza como paso previo a otro análisis o modelo, se puede realizar una validación externa. Por ejemplo, se puede evaluar el rendimiento del modelo resultante utilizando diferentes números de componentes y seleccionar aquel que maximice la métrica de evaluación deseada.

Prueba de adecuación de muestreo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

La prueba Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) de adecuación de muestreo es un estadístico que indica la proporción de varianza en las variables que pueden ser causadas por factores subyacentes. La prueba devuelve valores entre 0 y 1. Los valores altos (cerca de 1.0) generalmente indican que un análisis factorial puede ser útil con los datos. Si el valor es menor que 0.50, los resultados del análisis factorial probablemente no serán muy útiles.

Kaiser (1974) propuso el siguiente criterio para decidir sobre la adecuación del análisis factorial de un conjunto de datos:

$0.9 \leq KMO \leq 1.0$ = Excelente adecuación muestral.

$0.8 \leq KMO \leq 0.9$ = Buena adecuación muestral.

$0.7 \leq KMO \leq 0.8$ = Aceptable adecuación muestral.

$0.6 \leq KMO \leq 0.7$ = Regular adecuación muestral.

$0.5 \leq KMO \leq 0.6$ = Mala adecuación muestral.

$0.0 \leq KMO \leq 0.5$ = Adecuación muestral inaceptable.

La prueba se denota como:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} u_{ij}}$$

Donde:

$R = [r_{ij}]$ es la matriz de correlación

$U = [u_{ij}]$ es la matriz de covarianza parcial

$\Sigma = [r_{ij}]$ notación de suma

Prueba de esfericidad de Bartlett

La prueba de esfericidad de Bartlett contrasta la hipótesis de que la matriz de correlaciones es una matriz de identidad, lo que indicaría que las variables no están relacionadas y, por lo tanto, no son adecuadas para la detección de estructuras. Los valores pequeños (menores que 0,05) del nivel de significación indican que un análisis factorial puede ser útil con los datos.

La fórmula para calcular el estadístico de prueba es la siguiente:

$$T = \frac{-(n-1-\frac{2p+56}{9})\log(D)}{1+\frac{2(p^2-p-5)}{9(p+2)}+\frac{p^2-3p+2}{36(p+2)^2}}$$

Donde:

T es el estadístico de prueba.

n es el número de observaciones (tamaño de la muestra).

p es el número de variables dependientes (dimensionalidad del espacio de variables).

D es el determinante de la matriz de covarianza muestral.

La hipótesis nula de la prueba de esfericidad de Bartlett establece que no hay correlación entre las variables dependientes en la población. La hipótesis alternativa sugiere que hay una correlación significativa entre las variables.

El estadístico de prueba utilizado en la prueba de esfericidad de Bartlett sigue una distribución chi-cuadrado. Si el valor de p asociado con la prueba es menor que un nivel de significancia predefinido (por ejemplo, 0.05), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay evidencia suficiente para afirmar que las variables están correlacionadas entre sí en la población y, por lo tanto, los datos son adecuados para ejecutar un análisis de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estadísticas preliminares del Cuadro 2 son importantes para estudiar el panorama actual de las actividades de innovación en América Latina. Los valores medios más altos se encuentran en publicaciones científicas (74.96), solicitudes de marcas (66.82) y diversidad de la fuerza laboral (56.35), mientras que los valores más bajos se ubican en co-inversiones internacionales (4.15), patentes (8.79) e instituciones de investigación (8.99). El análisis toma relevancia considerando que los datos están normalizados en una escala de 0 a 100 para calificar a cada país según su desempeño.

Es así como la magnitud de las medias abona en la explicación de los bajos niveles de innovación en la región, pues las variables que contienen los valores más bajos desempeñan un papel crucial en el impulso de la innovación y el desarrollo científico. Por ejemplo, las co-inversiones internacionales implican la colaboración de investigadores y empresas de diferentes países en la creación y desarrollo de tecnologías y productos, sin embargo, la falta de infraestructura adecuada, la brecha en la financiación y la disparidad en los niveles de investigación en la región han dificultado el aprovechamiento de estas colaboraciones. Esto se puede observar en el valor máximo de la región, el cual alcanza apenas una calificación de 11.10 (Uruguay).

En cuanto a las patentes (valor medio de 8.79), los países de América Latina enfrentan desafíos para traducir la investigación en productos y servicios comercializables pues los procesos burocráticos, la falta de recursos financieros y la falta de una cultura de protección de la propiedad intelectual obstaculizan la maximización del valor de las patentes.

Por otro lado, las Instituciones de investigación en América Latina también presentan un valor medio muy bajo (8.99). Si bien es cierto, muchas universidades y centros de investigación han logrado destacarse en áreas específicas, el acceso limitado a fondos de investigación, la falta de inversión en infraestructura y la falta de reconocimiento adecuado para los investigadores a plantear obstáculos significativos.

Tabla 2

Estadísticas descriptivas del conjunto de datos

Variable	Media	Mediana	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Coefficiente de Variación
Diversidad de la fuerza laboral	56.35	54.60	6.23	45.60	68.50	11.05
Desarrollo de clústers	40.88	40.80	7.42	25.90	54.70	18.14
Co-inversiones internacionales	4.15	2.50	4.09	0.00	11.10	98.40
Colaboración de múltiples partes	40.36	42.80	5.45	31.10	46.70	13.51
Publicaciones científicas	74.96	75.60	9.93	59.80	91.90	13.24
Patentes	8.79	4.50	9.26	0.00	30.00	105.39
Gasto en I+D como % PIB	10.03	5.20	10.09	0.50	42.20	100.57
Instituciones de Investigación	8.99	1.10	16.52	0.00	63.40	183.76
Sofisticación del consumidor	37.95	38.50	7.69	20.60	49.40	20.26
Solicitudes de marcas	66.82	69.40	18.35	0.00	81.90	27.47

Fuente: Elaboración propia.

¿Cuáles son las actividades de innovación más heterogéneas en los países que conforman la región? La desviación estándar de los datos presentada en el Cuadro 2 es útil dado que mide la dispersión de los datos alrededor de la media. De esta manera se puede observar que los indicadores que presentan mayor variabilidad son las solicitudes de marcas, instituciones de investigación y gasto en I+D como porcentaje de PIB.

Así, mientras algunas naciones han establecido ecosistemas de investigación y desarrollo robustos, otras luchan por superar desafíos económicos y estructurales. Por ejemplo, en lo referente a las instituciones de investigación, mientras Guatemala, Bolivia, El Salvador, Honduras y Nicaragua tienen una calificación de cero, Brasil cuenta con una calificación de 63.4 y México con 29.8.

Al realizar el mismo comparativo con el gasto en I+D como porcentaje del PIB encontramos resultados similares. Honduras y Guatemala rondan la unidad en calificación, mientras que Brasil, Argentina, y México presentan los puntajes más altos en este rubro: 42.2, 17.8 y 16.2 respectivamente.

Un estudio previo adicional es el conocimiento del grado de correlación entre las variables. De esta manera, el correlograma de la Figura 2 presenta las correlaciones parciales de las variables que componen la investigación.

En el correlograma se puede identificar que, el gasto en investigación como porcentaje del PIB tiene una correlación alta con las instituciones de investigación (0.89), publicaciones científicas (0.70) y patentes (0.60). Esto está en línea con la teoría, un aumento en el gasto en investigación como porcentaje del PIB puede fortalecer las instituciones de investigación al proporcionar más recursos

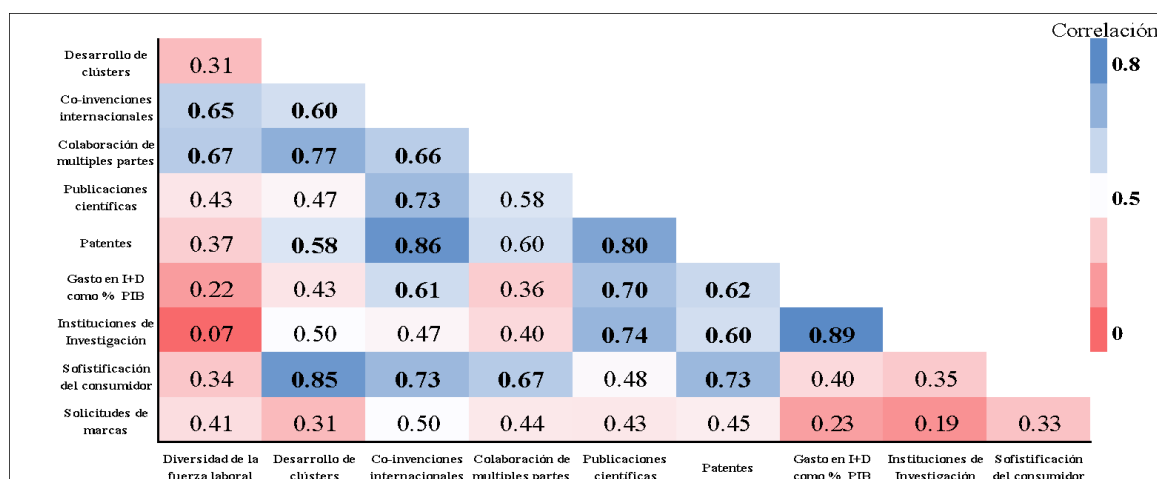
para equipos y personal altamente cualificado. Asimismo, tiende a fomentar un incremento en las publicaciones científicas, ya que más financiamiento puede respaldar investigaciones de mayor alcance.

Por otro lado, mayor gasto en investigación está relacionado en muchas ocasiones con un aumento en la generación de patentes, indicando una mayor innovación y transferencia tecnológica, lo que impulsa el desarrollo económico y la competitividad. A su vez las patentes presentan una correlación importante con otras variables como las co-inversiones internacionales (0.86) y las publicaciones científicas (0.80).

También se puede apreciar la correlación que presentan las co-inversiones internacionales con la diversidad de la fuerza laboral (0.65) y el desarrollo de clústers (0.60). Una fuerza laboral diversa aporta perspectivas variadas, fomentando la innovación en colaboración, mientras que los clústers, al concentrar industrias afines, promueven interacciones y oportunidades para co-inversiones, impulsando la creación conjunta de conocimiento.

Figura 1

Correlograma de las variables



Fuente: Elaboración propia

Pruebas estadísticas del ACP

Con los resultados del correlograma podemos afirmar el alto grado de correlación de las variables objeto de estudio. Por lo que, inicialmente es un buen indicio para asegurar que el Análisis de Componentes Principales (ACP) es adecuado. Sin embargo, es necesario realizar ensayos previos como la prueba de esfericidad de Bartlett, la cual evalúa si las variables están correlacionadas en conjunto y ayuda a determinar si el uso del ACP es apropiado y si las variables tienen una relación significativa entre sí.

La hipótesis nula (H_0) de esta prueba estadística sugiere que no hay ninguna correlación significativamente diferente de 0 entre las variables, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) apunta que al menos una de las correlaciones entre las variables es significativamente diferente de 0.

Los resultados de esta prueba están contenidos en el Cuadro 3 y está indicando que, dado que el valor-p calculado es menor que el nivel de significancia estadística ($\alpha=0.05$), se debe rechazar la hipótesis

nula (H_0), y aceptar la hipótesis alternativa (H_1). Por lo que se concluye que al menos una de las correlaciones es significativamente diferente de cero.

Adicionalmente, el ACP requiere añadir una prueba para evaluar la idoneidad de los datos. La medida de adecuación de muestreo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es utilizada para ello pues proporciona una puntuación que indica si los datos son apropiados para la reducción de dimensionalidad. Como se revisó en el capítulo que contiene la metodología, valores más altos de KMO (generalmente por encima de 0.6) sugieren que la correlación entre variables es lo suficientemente fuerte como para proceder con confianza en el ACP. Si el KMO es bajo, puede indicar que las variables no están lo suficientemente relacionadas, lo que podría afectar la interpretación de los resultados del ACP.

Tabla 3

Prueba de esfericidad de Bartlett

Chi-cuadrado (Valor observado)	135.780
Chi-cuadrado (Valor crítico)	61.656
GL	45
valor-p (bilateral)	<0.0001
alfa	0.05

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se presentan los resultados de esta prueba (KMO), en donde se puede ver un KMO para cada variable, así como un KMO global de 0.72, cifra que indica que los datos utilizados en el estudio son adecuados para la aplicación del ACP.

Tabla 3

Medida de adecuación de muestreo de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

Variable	KMO
Diversidad de la fuerza laboral	0.56
Desarrollo de clústers	0.64
Co-inversiones internacionales	0.76
Colaboración de múltiples partes	0.76
Publicaciones científicas	0.88
Patentes	0.71
Gasto en I+D como % PIB	0.69
Instituciones de Investigación	0.61
Sofisticación del consumidor	0.73
Solicitudes de marcas	0.94
KMO global	0.72

Fuente: Elaboración propia.

Después del estudio exploratorio y las pruebas previas a la aplicación del ACP, el primer paso es determinar el número adecuado de componentes principales. Es el paso más importante, ya que afecta la cantidad de información que se retiene del conjunto de datos original y, por lo tanto, influye en la calidad de la reducción de dimensionalidad.

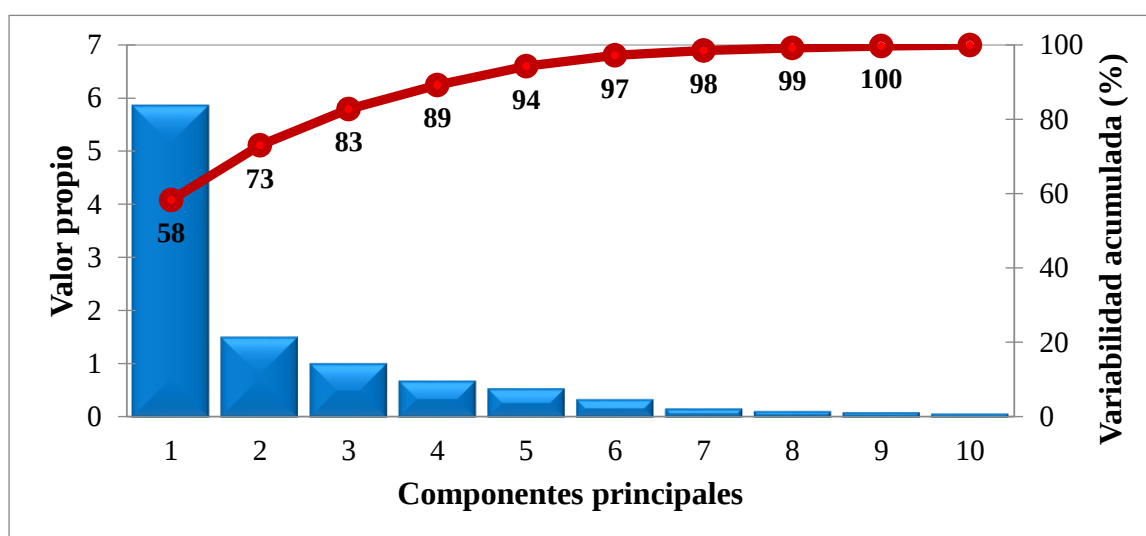
La Figura 3 contiene el gráfico de sedimentación que permite visualizar la contribución de cada componente principal en términos de la varianza explicada, así como los valores propios de cada

componente. Con esta ilustración se puede tomar una decisión informada sobre cuántos componentes principales debe conservar el ACP.

La regla de Kaiser-Guttman sugiere que se deben retener sólo los componentes cuyo valor propio (eigenvalue) sea mayor que 1, por lo tanto, el gráfico de sedimentación ilustra que solo los primeros tres componentes principales cumplen con esta regla, pues los valores propios son 5.8, 1.5 y 1 respectivamente. Adicionalmente se puede identificar que los mismos componentes explican el 83 por ciento de la información de las variables originales, por lo anterior con los primeros tres componentes principales se puede retener la información y la simplificación del conjunto original de los datos.

Gráfico 2

Gráfico de sedimentación



Fuente: Elaboración propia.

Actividades de innovación y su relación con los componentes principales

Uno de los resultados visuales más importantes del ACP es el "círculo de correlación", que sirve como herramienta gráfica para ayudar a comprender y visualizar la relación entre las variables originales y los componentes principales. Dado que se ha revisado que los primeros dos componentes principales engloban gran parte de la información de las variables originales (73 por ciento), basta mostrar cómo las variables originales contribuyen a la definición de estos y cómo están relacionadas entre sí en el espacio de los primeros dos componentes principales.

En la Figura 4 se presenta el círculo de correlación que muestra las relaciones entre las actividades de innovación de América Latina y los componentes principales. La dirección y la longitud del vector representan la relación y la fuerza de la correlación entre la variable y el componente principal.

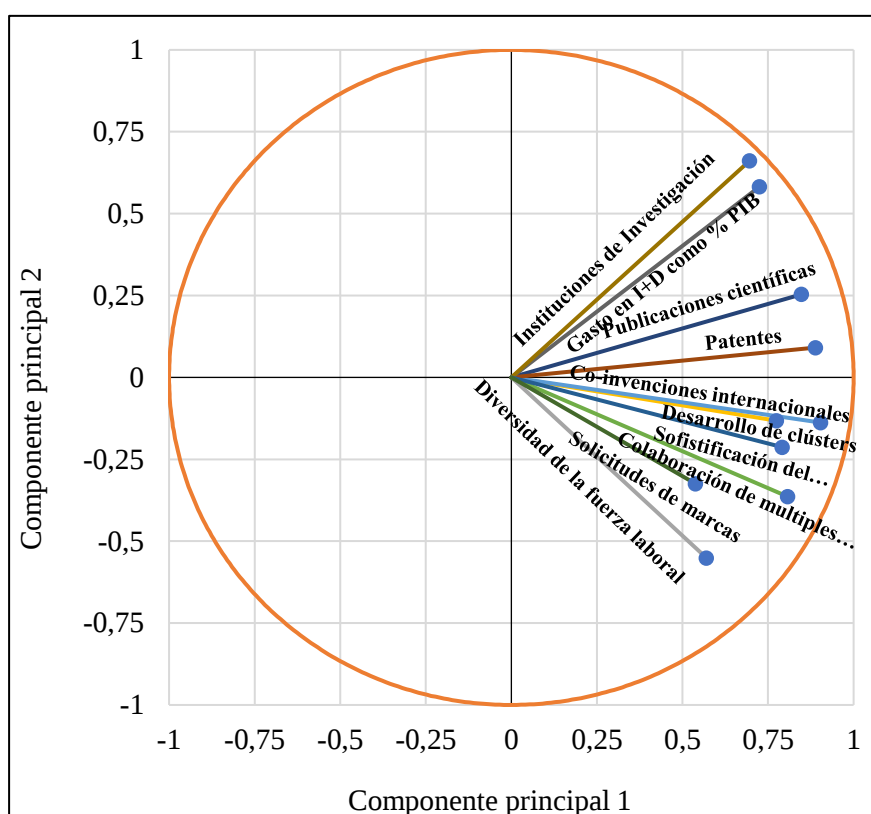
Las variables que tienen una correlación fuerte con el componente principal estarán más cerca de la línea del componente principal y tendrán un vector más largo. El círculo de correlación también muestra la relación entre las variables originales. Si dos variables están altamente correlacionadas entre sí, los vectores correspondientes estarán más cercanos en el círculo de correlación. Por otro lado, si las variables no están correlacionadas o están negativamente correlacionadas, los vectores estarán más alejados o en direcciones opuestas.

En primer lugar, se pueden identificar las actividades de innovación que están fuertemente relacionadas con cada componente principal al observar cómo los vectores se extienden significativamente hacia la periferia del círculo. En este sentido, el gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB y las instituciones de investigación científica están muy relacionadas con los dos componentes principales, pues el vector de estas variables se aproxima más a la circunferencia.

En segundo lugar, se pueden apreciar patrones de correlación entre las actividades de innovación en la región. Por ejemplo, si varias variables originales están agrupadas en la misma dirección en el círculo de correlación, esto sugiere que están correlacionadas positivamente entre sí y tienen una influencia similar en los componentes principales. Así, en América Latina existe una fuerte correlación entre el gasto en I+D como porcentaje del PIB, instituciones de investigación, publicaciones científicas y patentes.

Gráfico 3

Círculo de correlación del ACP



Fuente: Elaboración propia.

En el contexto actual de la región de América Latina y en recientes aplicaciones empíricas se ha comprobado la fuerte correlación entre el gasto en Investigación y Desarrollo (I+D) con el fortalecimiento de las instituciones de investigación científica, el aumento de publicaciones científicas y la generación de patentes. Este fenómeno se debe a un cambio significativo en la percepción de la importancia de la innovación y la ciencia en la región. Los gobiernos y las empresas han reconocido que la inversión en I+D y el apoyo a la investigación son fundamentales para el desarrollo económico y la competitividad global. Como resultado, se han destinado más recursos a proyectos de investigación, lo que ha impulsado la producción científica y tecnológica, aumentando la visibilidad de la región en la escena internacional y promoviendo la innovación y el crecimiento económico.

En el ACP cada componente principal está compuesto por una suma ponderada de las variables originales. Las contribuciones de las variables indican cuánto contribuye cada variable en la formación de un componente principal específico. Básicamente, las contribuciones miden la proporción de la varianza total del componente principal que es explicada por cada variable. Las contribuciones de las variables en el análisis de componentes principales indican la importancia relativa de cada variable en la formación de los componentes principales. Estas contribuciones permiten entender qué variables están más relacionadas con cada componente y cómo contribuyen a la variabilidad de los datos.

En términos de las actividades de innovación en América Latina indicarían cuales de estas están más relacionadas con las estructuras y patrones que prevalecen en los países que conforman la región. Esto puede ser útil en la toma de decisiones de política pública.

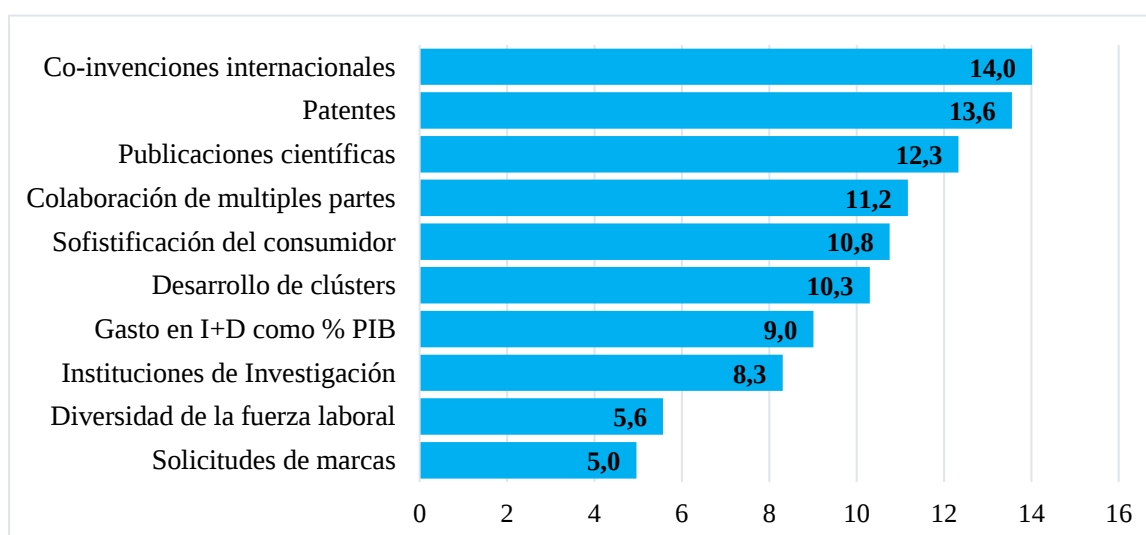
Así, por ejemplo, en la Figura 5 se aprecia la contribución de las actividades de innovación al primer componente principal, las co-inversiones internacionales aportan el 14 por ciento de la información, las patentes participan con un 13 por ciento, las publicaciones científicas con 12.3 por ciento y la colaboración de múltiples partes con un 11.2 por ciento. En conjunto estas actividades aportan más del 50 por ciento de toda la información al primer componente.

Por su parte, la Figura 6 muestra la contribución de cada actividad de innovación al segundo componente principal. Las instituciones de investigación contribuyen con el 29.7 por ciento, el gasto en I+D como porcentaje de PIB con el 23 por ciento y la diversidad de la fuerza laboral con 20.6 por ciento, lo que de manera grupal participan estas tres actividades con el 73.3 por ciento del total.

Por lo anteriormente expuesto podemos examinar nuevamente las actividades que tienen mayor preponderancia en los esfuerzos de innovación en América Latina, prácticamente suele tener un peso más importante el gasto realizado en I+D como porcentaje del PIB, pues con ello se incentivan las publicaciones científicas que se llevan a cabo en los centros de investigación, así como el número de patentes.

Gráfico 4

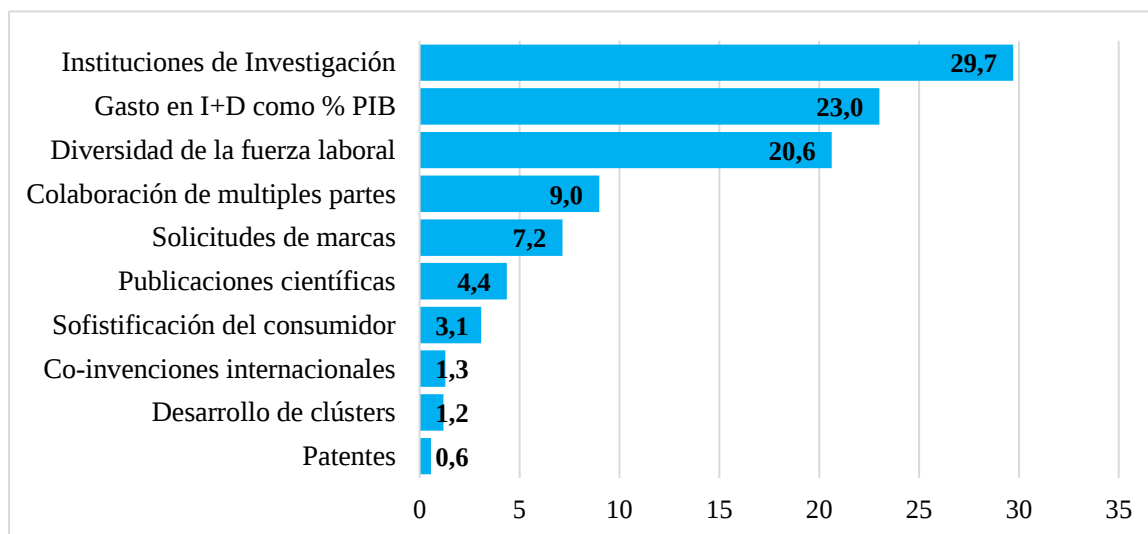
Porcentaje de contribución al primer componente principal.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5

Porcentaje de contribución al segundo componente principal



Fuente: Elaboración propia.

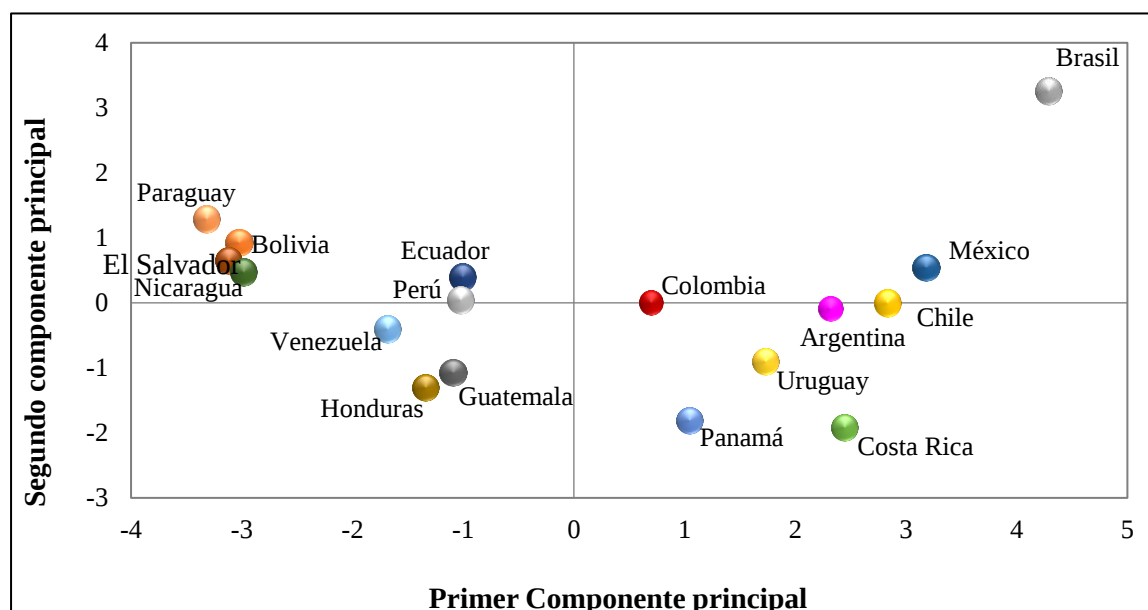
Formación de grupos con características similares de innovación

Un estudio adicional derivado del ACP permite la identificación de patrones similares en los datos de las observaciones, es decir, en el contexto de las actividades de innovación que desempeñan los países en la región se puede identificar la formación de grupos con características de innovación equivalentes o lo que también es conocido en la literatura económica como “clubes de convergencia”.

En este contexto, los resultados muestran la formación de 4 grupos de países que se diferencian por sus esfuerzos en las actividades de innovación (Figura 7). En primer lugar, hay que destacar el caso de Brasil, quien a pesar de los desafíos que enfrenta la región en términos de financiamiento, educación y la transferencia de tecnología, sigue mostrando un gran potencial en este ámbito siendo el único país en la región que invierte más del 1 por ciento del PIB en I+D, lo que lo ha convertido en una potencia regional en investigación y desarrollo.

Gráfico 8

Observaciones en el espacio de los componentes principales



Fuente: Elaboración propia.

Después del caso de Brasil, se puede clasificar a México, Argentina, Chile y Colombia en un primer grupo (primer cuadrante de la Figura 7). Estos países comparten similitudes en el contexto de innovación. En primer lugar, porque son economías emergentes con un alto potencial de crecimiento económico y una inversión en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB por encima del promedio regional, pero por debajo de Brasil. Además, comparten la diversidad cultural y geográfica que influye en la creatividad y la adaptación a diferentes desafíos, promoviendo la colaboración y el intercambio de conocimientos entre ellos. De esta manera, aunque enfrentan retos en términos de infraestructura y financiamiento, han demostrado un compromiso en fortalecer sus sistemas de innovación.

En el cuarto cuadrante de la Figura 7 se puede clasificar a Costa Rica, Uruguay y Panamá los cuales comparten similitudes notables en el contexto de la innovación. Estos países han invertido en infraestructura tecnológica y en la formación de recursos humanos altamente calificados. La estabilidad política y económica que experimentan también ha contribuido a crear un entorno propicio para la innovación. Aunque cada uno de estos países tiene su propia singularidad, su compromiso con la innovación y la búsqueda de soluciones creativas para los desafíos regionales los coloca en un grupo con características similares en términos de fomentar el progreso a través de la tecnología y la investigación.

En el siguiente grupo de países se agrupan: Perú, Ecuador, Paraguay, Bolivia, El Salvador y Nicaragua. Perú y Ecuador han avanzado en el ámbito de la ciencia y la tecnología, promoviendo la inversión en investigación y desarrollando ecosistemas de innovación. Paraguay y Bolivia enfrentan desafíos en estas áreas, como la falta de financiamiento y recursos. El Salvador ha impulsado el emprendimiento tecnológico, mientras que Nicaragua sigue luchando por promover la inversión en I+D.

Finalmente, los países más rezagados en términos de ciencia y tecnología son: Venezuela, Guatemala y Honduras (cuadrante III de la Figura 7), en donde, el atraso en actividades de innovación sigue siendo

un obstáculo importante para el progreso económico y social en estas naciones, y se requiere un esfuerzo continuo para cerrar la brecha con otras economías más avanzadas en la región y en el mundo.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se comprobó que las actividades de innovación en América Latina son un componente fundamental para impulsar el desarrollo económico en la región. A través del Análisis de Componentes Principales (ACP), se identificaron cuatro factores cruciales que desempeñan un papel crítico en la determinación del nivel de innovación. Estos factores son el gasto en investigación y desarrollo (I+D) como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB), la calidad y eficacia de las instituciones de investigación, la producción y difusión de publicaciones científicas y la generación de patentes.

El gasto en I+D como porcentaje del PIB refleja el compromiso de una nación con la investigación y el desarrollo tecnológico. Una inversión sólida en este rubro es esencial para estimular la innovación, ya que proporciona los recursos necesarios para la creación y adopción de nuevas tecnologías y procesos. Por otro lado, las instituciones de investigación científica desempeñan un papel clave en la promoción de la innovación. Estas instituciones actúan como motores de conocimiento y centros de investigación que impulsan la creatividad, la colaboración y la generación de ideas innovadoras.

Adicionalmente, la producción de publicaciones científicas es un indicador crucial del nivel de actividad investigativa en la región. Cuantas más publicaciones de calidad se produzcan, mayor será la probabilidad de que se compartan conocimientos y se promueva la innovación. Por último, el registro de patentes es un indicador tangible del éxito en la transformación de ideas en productos y soluciones comerciales. Las patentes no solo protegen la propiedad intelectual, sino que también fomentan la inversión y la comercialización de innovaciones.

En conjunto, estos cuatro factores constituyen una base sólida para comprender y medir el nivel de innovación en América Latina. Sin embargo, es esencial destacar que mejorar la capacidad de innovación en la región requiere un enfoque multifacético que aborde no solo estos factores, sino también otros desafíos relacionados, como la formación de capital humano altamente capacitado, la colaboración entre el sector público y privado, y el acceso a financiamiento para proyectos de investigación y desarrollo.

En última instancia, el fomento de la innovación en América Latina es una empresa vital que puede contribuir significativamente al crecimiento económico sostenible y al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. La identificación y comprensión de estos factores principales nos brindan una hoja de ruta valiosa para impulsar la innovación en la región y aprovechar todo su potencial en el mundo globalizado y altamente competitivo de hoy en día.

Por otro lado, se identificaron grupos con características similares de innovación. Esta diversidad en las actividades de innovación en América Latina es un fenómeno importante que merece una atención especial, ya que tiene implicaciones significativas para la formulación de políticas públicas y estrategias de desarrollo económico. Una forma eficaz de abordar esta diversidad es mediante la identificación y agrupación de países con características similares de innovación.

La creación de grupos o clústeres de países con características de innovación afines permite a los formuladores de políticas diseñar estrategias de innovación más específicas y efectivas. Algunos países de América Latina pueden estar avanzados en ciertos aspectos de la innovación, como la inversión en I+D, mientras que otros pueden destacar en la generación de patentes o en la formación de capital humano altamente capacitado. Comprender estas diferencias y similitudes puede ayudar a

adaptar las políticas de innovación a las necesidades y capacidades específicas de cada grupo de países.

REFERENCIAS

Favila Tello, A. (2019). Eficiencia de la innovación en América Latina. Una aproximación a través del Análisis Envoltante de Datos. Scielo.

Freeman, R. B. (1993). Working for Nothing: The Supply of Volunteer Labor. National Bureau of Economic Research.

Gutiérrez, L. & Flores, J. (2019). Factores que estimulan la actividad de innovación en América Latina: un enfoque VECM. Economía, Sociedad y Territorio, 373-403. <https://doi.org/10.22136/est20191366>

Gutiérrez, L., Méndez, A. V., & Flores, J. (2020). Dinámica de transición y distribución de la innovación en los países de América Latina: 2006-2017. Economía, Teoría y Práctica.

Grigera, Juan, & Nava, Agustin. (2021). El futuro del trabajo en América Latina: crisis, cambio tecnológico y control. El trimestre económico, 88(352), 1011-1042. Epub 13 de diciembre de 2021, de <https://doi.org/10.20430/ete.v88i352.1242>

Grossman, G. M., & Helpman, E. (1994). Endogenous Innovation in the Theory of Growth. Journal of Economic Perspectives, 8(1), 23-44.

Lucas, R. E. (1988). On the Mechanics of Economic Development. Journal of Monetary Economics, 22(1), 3-42.

Olmedo-Carranza, B. (2015). Política industrial y tecnológica en Corea del Sur: aprendizajes para América Latina. Revista CENIC. Ciencias Químicas, 46, 181-187.

Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. Journal of Political Economy, 98(5), 71-102.