

Revisión sistemática sobre la eficiencia de los sistemas nacionales de innovación

Systematic review on the efficiency of national innovation systems

OCHOA-URREGO, Rafael-Leonardo¹
GONZALEZ-CORREA, Gabriel²

Resumen

Se realiza una revisión sistemática de la literatura sobre la medición de la eficiencia de los Sistemas Nacionales de Innovación. Se analizaron 340 documentos extraídos de Scopus y Web of Science, seleccionando 32 para el análisis detallado. Se identificaron 167 indicadores, categorizados en 7 dimensiones. Los indicadores de entrada más utilizados son el Gasto en I+D+i, el gasto en personal y las aplicaciones de patentes. Los indicadores de salida más recurrentes son las patentes concedidas y los artículos científicos.

Palabras clave: sistemas nacional de innovación, medición de eficiencia, revision sistemática de la literatura, análisis envolvente de datos

Abstract

A systematic literature review on the measurement of the efficiency of National Innovation Systems is conducted. A total of 340 documents were analyzed from Scopus and Web of Science, with 32 selected for detailed analysis. A total of 167 indicators were identified, categorized into 7 dimensions. The most commonly used input indicators include R&D&i expenditure, expenditure on personnel, and patent applications. The most recurrent output indicators are granted patents and scientific articles.

Key words: national innovation system, efficiency measurement, systematic review, dea

1. Introducción

Los estados buscan generar un ambiente propicio para que las organizaciones privadas y públicas generen procesos de creación y adopción tecnológica. En este sentido, se sabe que la emergencia y difusión de innovaciones dependen de un complejo entramado de subsistemas sociales, actores, instituciones y estructuras

¹ Académico tiempo completo. Departamento de Tecnologías de Gestión. Universidad Santiago de Chile. Chile. rafael.ochoa@usach.cl

² Estudiante Magíster en Gestión de la Innovación y el Emprendimiento Tecnológico. Departamento de Tecnologías de Gestión. Universidad Santiago de Chile. Chile. gabriel.gonzalez@usach.cl

económicas que condicionan la tasa y dirección del cambio tecnológico (Chang, 2015). Bajo esta idea se formulan los Sistemas Nacionales de Innovación – SNI – los cuales son una clara influencia para el desempeño innovador de los países (Hu *et al.*, 2014).

Los SNI son una estrategia para fortalecer la competitividad y productividad del país (Young Sohn *et al.*, 2016); ya que el conjunto de instituciones nacionales que los constituyen contribuye a la diseminación de nuevas tecnologías que son consideradas beneficiosas para desarrollar los países y alcanzar los niveles de países desarrollados (Zhao *et al.*, 2021).

Analizando particularmente la eficiencia de los SNI, su estudio se ha convertido en un tema de alto interés en la literatura (Chang, 2015; Cullmann and Zloczysti, 2014; Tong and Liping, 2009). En general, medir la eficiencia de un sistema o una industria es importante tanto para los participantes del sistema como para los tomadores de decisiones a nivel de política pública (Cook and Seiford, 2009). Sin embargo, no existe un consenso sobre la manera en la que esta eficiencia debe ser medida, haciendo que cada propuesta de medición acuda a distintos indicadores, dimensiones y técnicas de medición y cálculo. Si bien ya se han realizado revisiones de la literatura en esta temática, en estos trabajos no se han analizado las dimensiones e indicadores que son utilizados en los distintos modelos para medir la eficiencia (Narayanan *et al.*, 2022). Por esta razón, este trabajo busca realizar una revisión sistemática de la literatura donde se dé cuenta de los siguientes elementos:

1. ¿Qué métodos son utilizados para calcular la eficiencia en los SNI?
2. ¿Cuáles son las dimensiones asociadas a la medición de la eficiencia de los SNI?
3. ¿Cuáles son los indicadores usados para la medición de la eficiencia de los SNI?

Con esto en mente, el presente documento inicia con la discusión teórica del concepto de SNI. Seguidamente, se muestra la metodología utilizada para la construcción de este documento. Posteriormente, se exponen los principales resultados y, finalmente, se presentan algunas conclusiones sobre el análisis.

2. Sistemas nacionales de innovación: discusión teórica

La innovación es un concepto que se encuentra presente desde el inicio de la civilización con hitos, a modo de ejemplo, como el descubrimiento del fuego y la invención de las primeras herramientas. Ello nos ha permitido lograr la evolución que hemos alcanzado como especie, de forma de poder adecuarnos a nuestro entorno con rapidez y efectividad. Más allá de la injerencia histórica que ha tenido, es relevante destacar que la innovación se ha estudiado de manera más sistemática y académica desde el siglo XX, una de sus primeras menciones desde el ámbito académico data del año 1919 con el economista Joseph Schumpeter (Rodríguez Ramírez, 2009; Sweezy, 1943). Diversos autores comenzaron a usar el término innovación a lo largo de los años 80 y 90, por ejemplo se menciona que la innovación es la herramienta específica de los empresarios innovadores; el medio por el cual explotar el cambio como una oportunidad para un negocio diferente (Drucker, 1994) o cuando se menciona que la Innovación es la producción de un nuevo conocimiento tecnológico, diferente de la invención que es la creación de alguna idea científica teórica o concepto que pueda conducir a la innovación cuando se aplica el proceso de producción (Elster, 1990).

Esta evolución en la concepción de la innovación ha generado el desarrollo de nuevos términos como la innovación tecnológica entendida como actividades que generan un avance tecnológico y por consecuencia producen nuevos o mejorados productos o procesos de producción (Gómez Vietes and Calvo González, 2010; OECD/Eurostat, 2018). Con el fin de generar un ambiente propicio para la aparición de esta innovación tecnológica, distintas instituciones y actores constituyen una red o entramado propio de cada país, entramado

que recibe el nombre de Sistemas Nacionales de Innovación (SNI). El desarrollo de las ideas que dan origen a este concepto data del autor Friedrich List quien en el año 1841 publicó un libro titulado *The National System of Political Economy* en donde menciona el Sistema Nacional de Producción (Caballero Hernández, 2008).

De acuerdo con Edquist (1997) el planteamiento de los Sistemas de Innovación ha sido influenciado por dos teorías principalmente: las teorías evolucionistas y las teorías del aprendizaje interactivo. Las teorías evolucionistas plantean que el cambio tecnológico es un proceso evolutivo guiado por mecanismos rutinizados que desarrollan las empresas. Dichos mecanismos utilizados de manera sistemática introducen modificaciones en el sistema las cuales son evaluadas y seleccionadas a través de procesos sociales (Morero, 2010). Por su parte, las teorías de aprendizaje interactivo plantean que la tecnología es una acumulación de conocimiento y la empresa es un sistema complejo de generación y difusión de este (Lundvall, 2011; Morero, 2010).

En el proceso de formalización del concepto de SNI, Freeman lo concibe como un conjunto de instituciones públicas y privadas que buscan iniciar, importar, modificar y difundir nuevas tecnologías gracias al desarrollo de actividades fortalecidas por sus interacciones (Araneda Guirriman *et al.*, 2017; Chang, 2015; Lu *et al.*, 2014; Pan *et al.*, 2010). Posteriormente, Lundvall retoma el concepto y pone de manifiesto la necesidad de que los SNI generen conocimiento nuevo y útil económicamente (Chang, 2015). En consecuencia, un SNI se es un sistema interconectado de instituciones que buscan crear, almacenar y transferir tecnología expresada en conocimientos, habilidades y artefactos (Chang, 2015; Lu *et al.*, 2014).

Posteriormente, y debido al reconocimiento de la innovación como un fenómeno sistémico, los SNI son vistos como un sistema abierto y complejo que incluyen departamentos de innovación y desarrollo, las universidades, las instituciones públicas, empresas, centros tecnológicos, centros de difusión y apoyo de las actividades de investigación, entre otros (Araneda Guirriman *et al.*, 2017; Sebastián, 2000). Sin embargo, su composición va más allá de estas instituciones, por lo que es necesario incluir elementos económicos, sociales, políticos, organizacionales, institucionales y demás que condicionen el desarrollo, difusión, uso y apropiación de innovaciones (Chang, 2015; Choi and Zo, 2019; Jurickova, 2019). Adicionalmente, para comprender el funcionamiento de los SNI es necesario estudiar las relaciones e interacciones sociales entre los distintos participantes (Escobar *et al.*, 2017).

En consecuencia, el SNI es una combinación de procesos de producción, comercialización y aplicación de conocimiento (Choi and Zo, 2019), procesos que requieren de un apoyo desde las políticas públicas (Jankowska *et al.*, 2017). Con esta ampliación del concepto además de la industria, los negocios y las instituciones científicas, es necesario considerar como parte del SNI a las instituciones que formulan política pública (Pan *et al.*, 2010).

A partir de esta visualización, los SNI son sistemas multidimensionales creados a partir de una red donde fluye el conocimiento con el fin de crear valor (Chang *et al.*, 2019). Por consiguiente, es claro afirmar que los SNI son un factor determinante para incrementar el desempeño de I+D de los países (Hu *et al.*, 2014). Por consiguiente, la mejora en las relaciones entre los miembros un SNI conllevará una mejora en la capacidad de innovación de un país (Lu *et al.*, 2014)

Ahora bien, un SNI eficiente es crítico para un país que compite internacionalmente donde altos niveles de competitividad y productividad son requeridos (Bakhtiar *et al.*, 2021), ya que en este escenario de alta competencia la innovación y la tecnología juegan un papel importante (Liu *et al.*, 2015) tanto en el desarrollo económico (Young Sohn *et al.*, 2016) como en la generación de empleo de alta calidad (Bakhtiar *et al.*, 2021).

El concepto acá expresado refuerza la importancia de la articulación y coordinación de múltiples actores de manera de permitir que se canalicen los procesos de innovación para facilitar el desarrollo de un país. El que se trabaja de manera coordinada permite hacer un uso eficiente de los recursos de las organizaciones, compartiendo información relevante que finalmente va en beneficio de las personas y organizaciones del país que desarrolla dicho SNI.

2. Metodología

Se realizó una revisión de la literatura (Tranfield *et al.*, 2003) buscando identificar modelos existentes que estén orientados a la medición de la eficiencia de SNI. Para esto se consultaron las bases de datos *Web of Science* y *Scopus* con las ecuaciones de búsqueda que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Ecuaciones de búsqueda utilizadas

EQ1	<i>Efficiency AND model AND "national innovation"</i>
EQ2	<i>Efficiency AND model AND "regional innovation"</i>
EQ3	<i>Efficiency AND measurement AND "national innovation"</i>
EQ4	<i>Efficiency AND measurement AND "regional innovation"</i>

Fuente: construcción propia

Las ecuaciones de búsqueda se aplicaron en el título, resumen y palabras clave de los documentos. Se diseñaron criterios de inclusión que se muestran en la Tabla 2, los cuales fueron aplicados en dos momentos de análisis distintos. Inicialmente, se analizaron los abstract de los artículos. Seguidamente, se eliminaron artículos que no estuvieran disponibles para su lectura completa. Finalmente, se realizó un análisis a profundidad de los artículos seleccionando la muestra final de documentos.

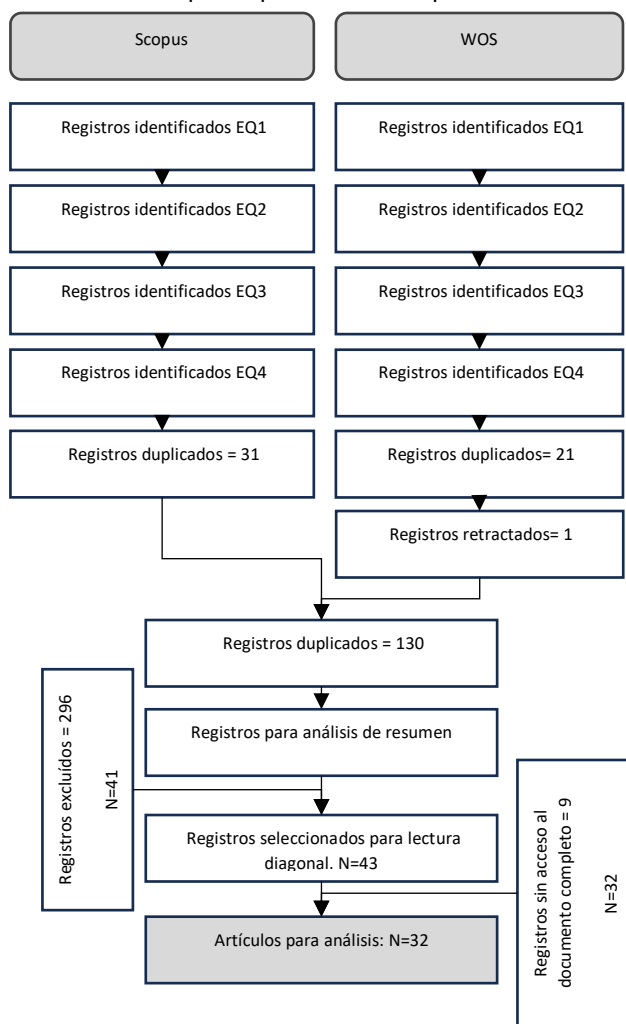
Tabla 2
Criterios de Inclusión

Debe plantear un modelo de medición de la eficiencia de sistemas nacionales o regionales de innovación
Debe mostrar claramente los indicadores utilizados y las fuentes consultadas
Debe aplicar el modelo y validar los resultados obtenidos

Fuente: Construcción propia

Los resultados obtenidos en cada una de las etapas de evaluación se muestran en la Figura 1.

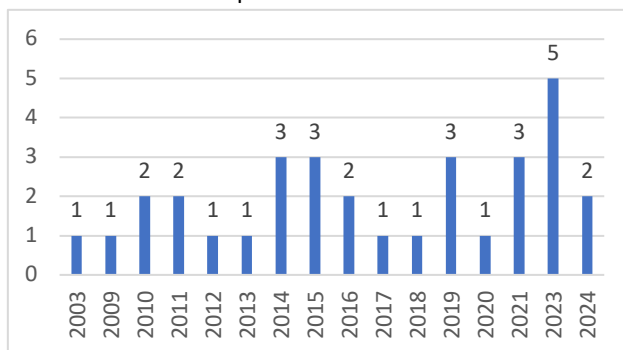
Figura 1
Mapa del proceso de búsqueda



Fuente: Construcción propia

Finalmente, se seleccionaron 32 artículos para el análisis de los indicadores. La distribución temporal de los artículos seleccionados se muestra en la Figura 2.

Figura 2
Distribución temporal de los artículos analizados

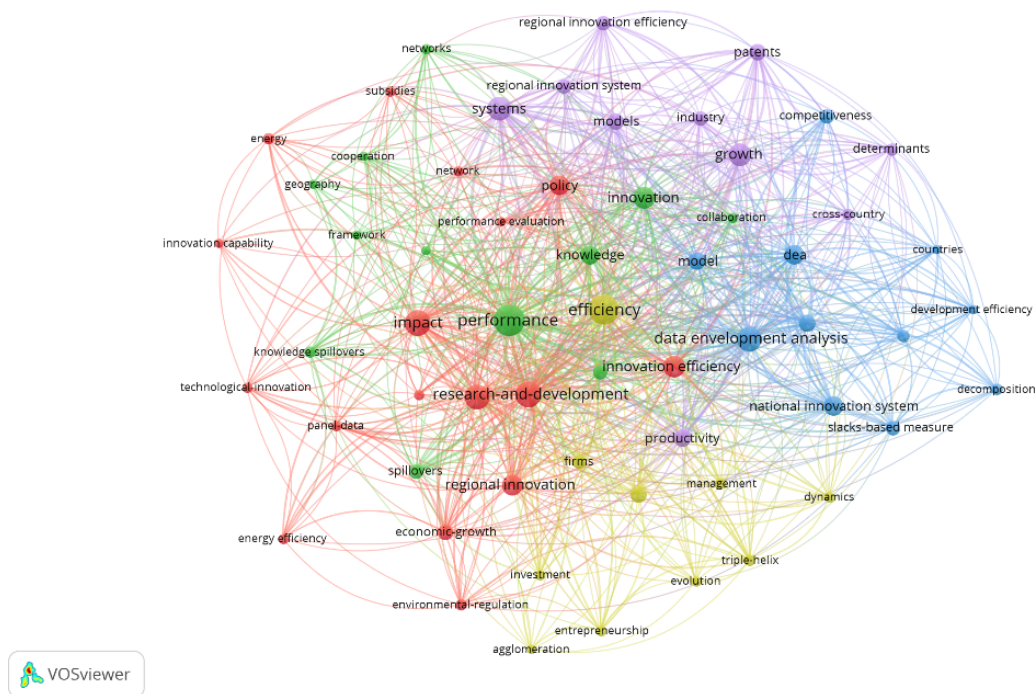


Fuente: Construcción propia

3. Resultados y discusión

Inicialmente se realizó un análisis sobre los metadatos de los 344 que se obtuvieron de la búsqueda en la base de datos. Este análisis busca identificar las principales corrientes de estudio actuales. Con este fin, se construyó un análisis de coocurrencias de palabras clave utilizando el software VOSviewer el cual realiza análisis de grafos e identifica clúster de palabras clave (van Eck and Waltman, 2011). Como resultado se obtuvo el grafo mostrado en la Figura 3.

Figura 3
Análisis de coocurrencia de palabras clave.



Fuente: Construcción propia

En esta representación visual, se distinguen claramente cuatro grupos distintos, cada uno diferenciado por un color diferente. Cada grupo comprende palabras clave que aparecen frecuentemente juntas en varios artículos, y el tamaño de la esfera asociada a cada palabra refleja su peso relativo en el número total de palabras clave (van Eck and Waltman, 2017).

El clúster de color amarillo agrupa estudios relacionados con las dinámicas de la triple hélice y su relación con la eficiencia de los sistemas nacionales de innovación. Por su parte, el clúster rojo está compuesto por estudios que analizan los resultados de procesos de innovación y desarrollo tendientes a la innovación tecnológica y a la construcción de capacidades de innovación. En el clúster verde se encuentran los estudios asociados al desempeño de los sistemas de innovación a partir de la colaboración, cooperación y el knowledge spillover entre los participantes del sistema. Por su parte, el clúster de color púrpura concentra los estudios asociados a los determinantes que condicionan la productividad y el crecimiento de las industrias pertenecientes a un sistema nacional de innovación. Finalmente, se encuentra el clúster azul que recoge los estudios relacionados con la medición de la eficiencia. Este clúster se destaca la utilización del método de datos envolventes – DEA como principal herramienta metodológica. Es en este clúster en donde se concentra el presente estudio.

Posteriormente, se analizaron los 25 documentos seleccionados en dos etapas. En una primera etapa se identificó el método de análisis utilizado para calcular la eficiencia de los sistemas nacionales de innovación. En una segunda etapa, se identificaron y clasificaron las variables o indicadores utilizadas por cada modelo para realizar el cálculo de la eficiencia. A continuación, se presentan los resultados de cada una de estas etapas.

3.1. Análisis metodológico

Inicialmente, se identificaron los métodos utilizados por los documentos seleccionados para realizar el cálculo de la eficiencia de los NIS. Los hallazgos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Métodos de análisis

ID	Autores	Análisis de componentes principales	Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales	Análisis relacional gris	Análisis de Contenido	Análisis de clúster	Modelo de ecuaciones estructurales	Análisis envoltorio de datos	Análisis envoltorio de datos de dos etapas	Análisis envoltorio de datos de tres etapas	Análisis de Frontera estocástica	Modelo TOBIT	Otro
P1	(Nasierowski and Arcelus, 2003)									X			
P2	(Pan <i>et al.</i> , 2010)							X					
P3	(Tong and Liping, 2009)							X					
P4	(Wonglimpiyarat, 2010)												X
P5	(Chen <i>et al.</i> , 2011)								X				
P6	(Hsu, 2011)			X				X					
P7	(Hu <i>et al.</i> , 2014)										X		
P8	(Guan and Chen, 2012)		X					X					
P9	(Mahroum and Al-Saleh, 2013)				X								
P10	(Cullmann and Zloczynski, 2014)										X		
P11	(Liu <i>et al.</i> , 2015)							X					
P12	(Lu <i>et al.</i> , 2014)							X					
P13	(Carayannis <i>et al.</i> , 2015)								X				
P14	(Chang, 2015)								X				
P15	(Kou <i>et al.</i> , 2016)								X				
P16	(Young Sohn <i>et al.</i> , 2016)						X						
P17	(Jankowska <i>et al.</i> , 2017)												X
P18	(Edquist <i>et al.</i> , 2018)								X				
P19	(Choi and Zo, 2019)					X		X					
P20	(Jurickova <i>et al.</i> , 2019)								X				
P21	(Zhang and Wang, 2019)							X					
P22	(Alnafrah and Zeno, 2020)	X				X							
P23	(Bakhtiar <i>et al.</i> , 2021)												X
P24	(Dobrzanski <i>et al.</i> , 2021)							X					
P25	(Zhao <i>et al.</i> , 2021)							X					
P26	(Alqararah, 2023)	X						X					
P27	(Cao <i>et al.</i> , 2023)								X				
P28	(Ji <i>et al.</i> , 2023)							X				X	
P29	(Luo <i>et al.</i> , 2023)												X
P30	(Wang and Liu, 2023)												X
P31	(Rodríguez-Cornejo <i>et al.</i> , 2024)							X					
P32	(Yoon <i>et al.</i> , 2024)							X				X	

Fuente: construcción propia

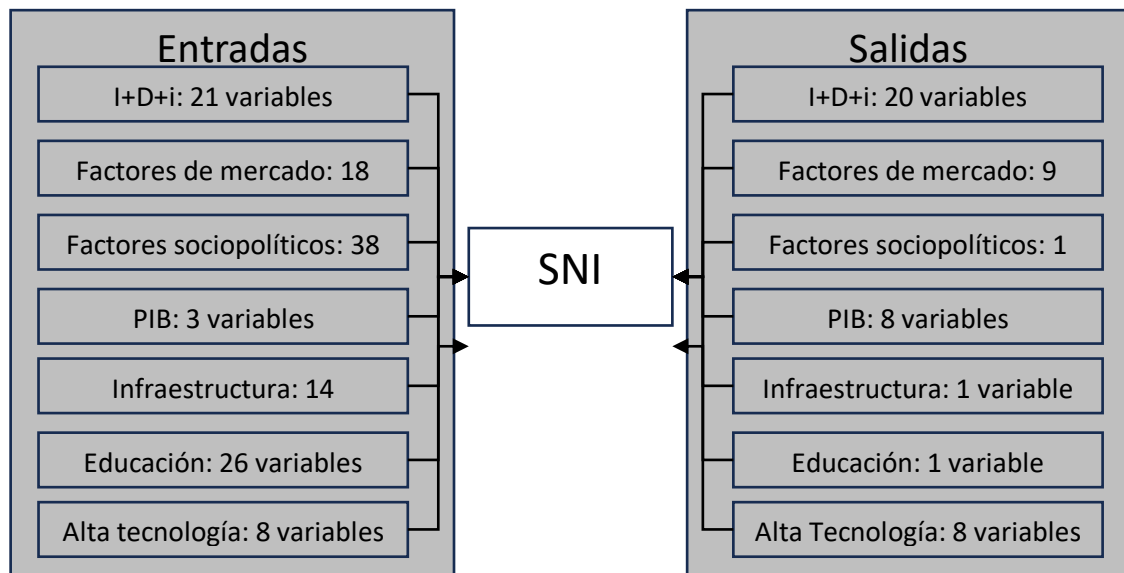
En la tabla anterior se puede identificar que el método más utilizado para el cálculo de la eficiencia en los SNI es DEA en sus tres modalidades (una, dos y tres etapas) siendo este utilizado por el 69% de los artículos analizados, siendo el análisis de una sola etapa el más común 44%. Este modelo, creado por Farrell, se utiliza ampliamente para medir eficiencia relativa de múltiples unidades de toma de decisión. Este método permite combinar entradas con una variedad de unidades, obteniendo una medida satisfactoria de la eficiencia (Cooper *et al.*, 2000). Adicionalmente, no requiere de una función explícita para establecer la relación entre entradas y salidas (Carayannis *et al.*, 2015) haciendo más costo-efectiva su aplicación a sistemas de datos multivariados y complejos.

Es importante decir que DEA suele estar acompañado de otros tipos de análisis utilizados para detallar los efectos de las variables de entrada con las de salida de los modelos de eficiencia. Algunos de estos métodos complementario son el Análisis de Componentes Principales, el Modelo Tobit o el análisis de clúster.

3.2. Dimensiones asociadas a la eficiencia de los SNI

Se identificaron los indicadores y variables utilizadas en la literatura, identificando si se trata de un indicador de entrada o de salida en los modelos. Posteriormente, estos indicadores fueron agrupados en siete dimensiones: I+D+i, alta tecnología, factores de mercado, entorno socioeconómico, producto interno bruto, infraestructura complementaria y factores educativos. Esta clasificación permitió, entre otras cosas, confirmar el carácter multidimensional de los SNI y de sus efectos. En la Figura 4 se muestran el número de indicadores encontrados en cada una de estas categorías.

Figura 4
Número de variables por dimensión



Fuente: construcción propia.

Es importante destacar que la mayoría de los modelos incluyen variables asociadas al proceso de I+D+i, siendo la categoría con más indicadores, 41 en total. Junto con esta, los factores socioeconómicos y la medición del PIB aparecen con indicadores tanto de entrada como de salida. Por otro lado, las dimensiones de factores sociopolíticos, infraestructura y educación contienen mayoritariamente indicadores de entrada. Esto puede explicarse con el hecho de que estas dimensiones son las que crean las condiciones del entorno para que el SNI pueda funcionar adecuadamente (Chung, 2002; Coque *et al.*, 2014; Fagerberg and Srholec, 2008; Wang and Liu, 2023).

Igualmente, se encontró que la dimensión de I+D+i aparece en los 32 documentos con indicadores de entrada y en 29 con indicadores de salida. Adicionalmente, se encontró que P26 incluye indicadores en todas las dimensiones tanto como entradas y salidas. También se identificó que el modelo planteado en P9 incluye indicadores en diez dimensiones (siete dimensiones de entrada y tres de salida); P8 y P23 incluyen siete dimensiones, cuatro dimensiones de entrada y tres de salida y seis dimensiones de entrada y una de salida, respectivamente. Finalmente, se encontró que P8, P20, P31 y P32 utilizan indicadores asociados solamente a dos dimensiones. En la Tabla 4 se muestra el detalle de las dimensiones incluidas en cada uno de los modelos.

Tabla 4
Dimensiones por artículo

	Input						Output							
	Factores de Mercado	I+D+i	Alta tecnología	Factores Sociopolíticos	PIB	Infraestructura	Educación	Factores de Mercado	I+D+i	Alta tecnología	Factores Sociopolíticos	PIB	Infraestructura	Educación
P1	X	X					X		X			X		
P2	X	X					X		X					
P3		X	X						X	X				
P4	X	X	X				X		X					
P5		X		X	X	X	X		X					
P6		X	X			X	X	X	X					
P7		X							X					
P8	X	X		X			X	X	X	X				
P9	X	X	X	X	X	X	X		X		X			X
P10	X	X	X	X			X		X					
P11		X					X		X	X				
P12	X	X					X	X				X		
P13	X	X					X	X	X	X				
P14		X		X		X	X			X		X		
P15	X	X	X						X	X				
P16	X	X				X			X	X				
P17	X	X		X		X			X					
P18	X	X						X	X	X				
P19	X	X	X						X	X		X		
P20		X							X					
P21		X			X				X					
P22	X	X	X	X		X			X					
P23	X	X		X	X	X	X		X					
P24		X							X	X				

	Input							Output						
	Factores de Mercado	I+D+i	Alta tecnología	Factores Sociopolíticos	PIB	Infraestructura	Educación	Factores de Mercado	I+D+i	Alta tecnología	Factores Sociopolíticos	PIB	Infraestructura	Educación
P25		X		X				X	X			X		
P26	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
P27	X	X							X	X		X		
P28		X							X	X				
P29		X							X			X		
P30		X							X			X		
P31		X							X					
P32		X							X					

Fuente: construcción propia

3.3. Indicadores de entrada para la medición de la eficiencia de los SNI

Al analizar los modelos se encontraron 120 indicadores de entrada, los cuales pueden observarse en el Anexo A. La dimensión de factores sociopolíticos es aquella que contiene la mayor cantidad de indicadores con 38, los cuales incluyen elementos asociados al desempeño socioeconómico y político del país. En esta dimensión existe muy poco consenso en los elementos que sirven como insumos para los SNI ya que solamente cuatro de los 38 indicadores fueron relacionados en más de un modelo (Calidad y ambiente regulatorio, mecanismos de protección a inversionistas y estabilidad política). Es importante mencionar que 15 de los 38 indicadores de esta dimensión son aportados por el modelo de Bakhtiar et al. (2021).

Por su parte, en la dimensión de I+D+i se identificaron 20 indicadores, siendo los más frecuentes el porcentaje del PIB gastado en I+D con 22 apariciones, el gasto en personal de I+D con 11, y la capacidad de innovación y las aplicaciones al proceso de patentamiento con 9 apariciones cada una.

Prosiguiendo, en la dimensión de mercado se destaca el indicador de importaciones de bienes o servicios con tres apariciones. Es importante tener en cuenta estas importaciones ya que reflejan la capacidad de absorción que tiene un país (Bakhtiar *et al.*, 2021; Kou *et al.*, 2016; Lu *et al.*, 2014; Nasierowski and Arcelus, 2003; Young Sohn *et al.*, 2016). La capacidad de absorción encierra las capacidades que tienen las organizaciones para identificar, seleccionar y utilizar tecnologías y conocimiento generados fuera de sus procesos productivos (Cohen and Levinthal, 1990; Elizalde-Bobadilla *et al.*, 2019). En esta misma línea se encuentra el indicador de importación de alta tecnología, el cual es el que más veces aparece referenciado en la dimensión de alta tecnología.

Finalmente, para la dimensión de infraestructura los indicadores más frecuentes son el número de usuarios de Internet y la inversión en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Respecto a la dimensión de educación, el indicador más utilizado es el porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) invertido en formación.

3.4. Indicadores de salida para la medición de la eficiencia de los SNI

Por su parte, se encontraron 47 indicadores de salida concentrados en cuatro de las siete dimensiones. La dimensión con más indicadores de salida es I+D+i con 17, seguida de las dimensiones de Mercado con nueve indicadores, PIB con ocho y Alta Tecnología con siete.

Los indicadores con más apariciones son el número de Patentes concedidas con 19 y Artículos en Revistas científicas con 18, ambos pertenecientes a la dimensión de I+D+i. Estos dos indicadores marcan los resultados de la investigación básica y las primeras etapas de la investigación aplicada (Carayannis *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2011; Cullmann and Zloczyski, 2014; Guan and Chen, 2012; Lu *et al.*, 2014; Mahroum and Al-Saleh, 2013; Pan *et al.*, 2010; Tong and Liping, 2009). Adicionalmente, esta combinación de artículos y patentes también pone de manifiesto la importancia que tiene la interacción entre la generación de conocimiento científico y su aplicación en ambientes productivos (Jaramillo *et al.*, 2020; Méndez-Morales *et al.*, 2022).

Seguidamente, se encuentra el total de exportaciones de alta tecnología con 11 apariciones, lo cual representa el resultado de la explotación exitosa del conocimiento y la tecnología generada por los procesos de I+D+i y su comercialización fuera del país de origen (Alqararah, 2023; Cao *et al.*, 2023; Dobrzanski *et al.*, 2021). Sin embargo, este indicador puede dejar por fuera a los resultados de innovación generados por países donde la innovación se basa en actividades de no I+D (Elizalde-Bobadilla *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2010; Trigo, 2013).

Por otro lado, se encontró que el PIB aparece como un indicador de salida de los SNI en siete ocasiones, lo que pone de manifiesto la relación que existe entre la innovación y el desarrollo económico y la competitividad de un país (Liu *et al.*, 2015). Finalmente, es importante mencionar que en la dimensión de Mercado siete de los nueve indicadores encontrados son aportados por el modelo planteado por Mahroum and Al-Saleh (2013).

4. Conclusiones

El estudio analizó los métodos y dimensiones utilizados en la literatura para medir la eficiencia de los SNI. El método más ampliamente utilizado es el Análisis Envolvente de Datos, particularmente en su modalidad de una sola etapa, hallazgo que coincide con el análisis realizado por Narayanan *et al.* (2022). DEA permite combinar múltiples entradas y salidas sin necesidad de una función explícita, haciéndolo adecuado para sistemas complejos como los SNI. Otros métodos complementarios, como el Análisis de Componentes Principales y el Modelo Tobit, suelen acompañar a DEA para detallar los efectos de las variables.

Los SNI tienen un carácter multidimensional, con variables de entrada y salida que abarcan siete dimensiones principales: I+D+i, alta tecnología, factores de mercado, entorno socioeconómico, producto interno bruto, infraestructura complementaria y factores educativos. La dimensión de I+D+i es la que cuenta con más indicadores, tanto de entrada como de salida. Existe una falta de consenso en los indicadores específicos utilizados, especialmente en la dimensión de factores sociopolíticos.

Los indicadores de entrada más frecuentes incluyen el porcentaje del PIB gastado en I+D, el gasto en personal de I+D, la capacidad de innovación, las aplicaciones de patentes, las importaciones de bienes y servicios, el número de usuarios de Internet y la inversión en TIC. Por su parte, los indicadores de salida más utilizados son el número de patentes concedidas, los artículos en revistas científicas, las exportaciones de alta tecnología, y el PIB.

En resumen, el análisis destaca la complejidad y la naturaleza multidimensional de los SNI, y la necesidad de utilizar una combinación de indicadores en diferentes áreas para capturar adecuadamente su eficiencia. Además,

resalta la importancia de los indicadores relacionados con I+D+i, alta tecnología, factores de mercado y desarrollo económico.

Limitaciones

Los autores de este documento reconocen que el estudio presenta algunas limitaciones. La principal limitación es la utilización solamente de artículos incluidos en SCOPUS y Web of Science. A pesar de ser las bases de datos más importantes, esto deja por fuera documentos de circulación limitada o generados en países en desarrollo o en comunidades científicas con menos visibilidad. Igualmente, los resultados de esta investigación están limitados a documentos en inglés o español.

Agradecimientos

El presente trabajo hace parte del Proyecto DICYT Código 032378OU_Ayudante, financiado por la Vicerrectoría de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Santiago de Chile.

Referencias bibliográficas

- Alnafrh, I. and Zeno, B. (2020), “A new comparative model for national innovation systems based on machine learning classification techniques”, *Innovation and Development*, Routledge, Vol. 10 No. 1, p. 45, doi: 10.1080/2157930X.2018.1564124.
- Alqararah, K. (2023), “Assessing the robustness of composite indicators: the case of the Global Innovation Index”, *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, Vol. 12 No. 61, doi: 10.1186/s13731-023-00332-w.
- Araneda Guirriman, C., Pedraja Rejas, L. and Rodríguez Ponce, E. (2017), “Sistema Nacional de Innovación: Reflexiones y análisis del caso chileno National Innovation System: Reflections and analysis of the Chilean case”, *IDESIA (Chile)*, Vol. 35 No. 4, pp. 111–117.
- Bakhtiar, A., Ghazinoory, S.S., Aslani, A. and Mafi, V. (2021), “Efficiency-effectiveness assessment of national innovation systems: comparative analysis”, *Journal of Science and Technology Policy Management*, Vol. ahead-of-p No. ahead-of-print, doi: 10.1108/JSTPM-03-2021-0044.
- Caballero Hernández, R. (2008), “Sistema Nacional de Innovación y Complejidad: una evaluación crítica”, *Economía Informa*, No. 325, pp. 104–126.
- Cao, X.-Y., Wu, X.-L. and Wang, L.-M. (2023), “Innovation network structure, government R&D investment and regional innovation efficiency: Evidence from China”, *PLoS ONE*, Public Library of Science, Vol. 18 No. 5, doi: 10.1371/journal.pone.0286096.
- Carayannis, E.G., Goletsis, Y. and Grigoroudis, E. (2015), “Multi-level multi-stage efficiency measurement: the case of innovation systems”, *Operational Research*, Vol. 15, pp. 253–274, doi: 10.1007/s12351-015-0176-y.
- Chang, C.-C. (2015), “Influences of knowledge spillover and utilization on the NIS performance: a multi-stage efficiency perspective”, *Qual Quant*, Vol. 49, pp. 1945–1967, doi: 10.1007/s11135-014-0083-y.
- Chang, H.C., Wang, C.Y. and Hawamdeh, S. (2019), “Emerging trends in data analytics and knowledge management job market: extending KSA framework”, *Journal of Knowledge Management*, Vol. 23 No. 4, doi: 10.1108/JKM-02-2018-0088.

- Chen, C.-P., Hu, J.-L. and Yang, C.-H. (2011), “An international comparison of R&D efficiency of multiple innovative outputs: The role of the national innovation system”, *Innovation Management, Policy & Practice*, Vol. 13 No. 3, pp. 341–360, doi: 10.5172/impp.2011.13.3.341.
- Choi, H. and Zo, H. (2019), “Assessing the efficiency of national innovation systems in developing countries”, *Science and Public Policy*, Vol. 46 No. 4, pp. 530–540, doi: 10.1093/scipol/scz005.
- Chung, S. (2002), “Building a national innovation system through regional innovation systems”, *Technovation*, Vol. 22 No. 8, pp. 485–491, doi: 10.1016/S0166-4972(01)00035-9.
- Cohen, W.M. and Levinthal, D.A. (1990), “Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation”, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35 No. 1, p. 128, doi: 10.2307/2393553.
- Cook, W.D. and Seiford, L.M. (2009), “Data envelopment analysis (DEA) - Thirty years on”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 192, pp. 1–17, doi: 10.1016/j.ejor.2008.01.032.
- Cooper, W., Seiford, L. and Tone, K. (2000), “Data envelopment analysis : a comprehensive text with models, applications, references, and DEA-Solver software”, Kluwer Academic Publishers, New York, Vol. 1, pp. 1–347.
- Coque, J., González; Torres, P., López; Mielgo, N. and Vázquez, D. (2014), “Analysis of a local innovation system: Agents and network of relations”, *Dyna*, Vol. 81 No. 184, pp. 209–213, doi: 10.15446/dyna.v81n184.37249.
- Cullmann, A. and Zloczynski, P. (2014), “R&D efficiency and heterogeneity-a latent class application for the OECD”, *Applied Economics*, Vol. 46 No. 30, pp. 3750–3762, doi: 10.1080/00036846.2014.939410.
- Dobrzanski, P., Bobowski, S., Chrysostome, E., Velinov, E. and Strouhal, J. (2021), “Toward Innovation-Driven Competitiveness Across African Countries: An Analysis of Efficiency of R&D Expenditures”, *Journal of Competitiveness*, Vol. 13 No. 1, pp. 5–22, doi: 10.7441/joc.2021.01.01.
- Drucker, P. (1994), *La Innovación y El Empresario Innovador.*, Edsa.
- van Eck, N.J. and Waltman, L. (2011), “Text mining and visualization using VOSviewer”.
- van Eck, N.J. and Waltman, L. (2017), “Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer”, *Scientometrics*, Springer Netherlands, Vol. 111 No. 2, pp. 1053–1070, doi: 10.1007/s11192-017-2300-7.
- Edquist, C. (1997), *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, Routledge, doi: 10.4324/9780203357620.
- Edquist, C., Zabala-Iturriagoitia, J.M., Barbero, J. and Zofío, J.L. (2018), “On the meaning of innovation performance: Is the synthetic indicator of the Innovation Union Scoreboard flawed?”, *Research Evaluation*, Vol. 27 No. 3, pp. 196–211, doi: 10.1093/reseval/rvy011.
- Elizalde-Bobadilla, L.C., Rojas-Santoyo, F. and Ochoa, R.L. (2019), “Innovación No I+D en Colombia: un análisis desde la capacidad de absorción”, *Suma de Negocios*, Vol. 10 No. 23, pp. 168–177, doi: 10.14349/sumneg/2019.v10.n23.a9.
- Elster, J. (1990), *El Cambio Tecnológico: Investigación Sobre La Racionalidad y La Transformación Social*, Gedisa, Barcelona.

- Escobar, J.F., Cárdenas, M.F. and Bedoya, I.B. (2017), “De los sistemas a los ecosistemas de innovación”, *Revista Espacios*, Vol. 38 No. 34, p. 20.
- Fagerberg, J. and Srholec, M. (2008), “National innovation systems, capabilities and economic development”, *Research Policy*, Vol. 37 No. 9, pp. 1417–1435, doi: 10.1016/j.respol.2008.06.003.
- Gómez Vietes, Á. and Calvo González, J.L. (2010), *Innovación: Factor Clave Del Éxito Empresarial*, Ra-Ma.
- Guan, J. and Chen, K. (2012), “Modeling the relative efficiency of national innovation systems”, *Research Policy*, Vol. 41, pp. 102–115, doi: 10.1016/j.respol.2011.07.001.
- Hsu, Y. (2011), “Cross national comparison of innovation efficiency and policy application”, *African Journal of Business Management*, Vol. 5 No. 4, pp. 1378–1387, doi: 10.5897/AJBM10.1255.
- Hu, J.L., Yang, C.H. and Chen, C.P. (2014), “R&D efficiency and the national innovation system: An international comparison using the distance function approach”, *Bulletin of Economic Research*, Vol. 66 No. 1, pp. 307–3378, doi: 10.1111/J.1467-8586.2011.00417.X.
- Huang, C., Arundel, A. and Hollanders, H. (2010), *How Firms Innovate: R&D, Non R&D, and Technology Adoption, Working Paper Series*, Vol. 27, doi: 10.1111/j.1467-629X.1980.tb00220.x.
- Jankowska, B., Matysek-Jędrych, A. and Mroczek-Dabrowska, K. (2017), “Efficiency of National Innovation Systems – Poland and Bulgaria in The Context of the Global Innovation Index”, *Comparative Economic Research. Central and Eastern Europe*, Vol. 20 No. 3, pp. 77–94, doi: <https://doi.org/10.1515/cer-2017-0021>.
- Jaramillo, S., Martínez, D.F. and Agudelo, J.E. (2020), “Patentes e innovación en América”, *Revista Espacios*, Vol. 41 No. 1, pp. 10–20.
- Ji, Y., Cai, H. and Wang, Z. (2023), “Impact of Industrial Synergy on the Efficiency of Innovation Resource Allocation: Evidence from Chinese Metropolitan Areas”, *Land, MDPI*, Vol. 12 No. 177, doi: 10.3390/land12010177.
- Jurickova, E. (2019), “Efficiency measurement of national innovation systems of the European Union countries: DEA model application”, *Journal of International Studies*, Vol. 12 No. 4, pp. 286–299, doi: 10.14254/2071.
- Jurickova, E., Pilik, M. and Kwarteg, M.A. (2019), “Efficiency measurement of national innovation systems of the European Union countries: DEA model application”, *Journal of International Studies*, Vol. 12 No. 4, pp. 286–299, doi: 10.14254/2071.
- Kou, M., Chen, K., Wang, S. and Shao, Y. (2016), “Measuring efficiencies of multi-period and multi-division systems associated with DEA: An application to OECD countries’ national innovation systems”, *Expert Systems with Applications*, Pergamon, Vol. 46, pp. 494–510, doi: 10.1016/J.ESWA.2015.10.032.
- Liu, J.S., Lu, W.M. and Ho, M.H.C. (2015), “National characteristics: Innovation systems from the process efficiency perspective”, *R & D Management*, Vol. 45 No. 4, pp. 317–338, doi: 10.1111/RADM.12067.
- Lu, W.-M., Long Kweh, Q. and Huang, C.-L. (2014), “Intellectual capital and national innovation systems performance”, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 71, pp. 201–210, doi: 10.1016/j.knosys.2014.08.001.
- Lundvall, B.-Å. (2011), “Notes on innovation systems and economic development”, *Innovation and Development*, Vol. 1 No. 1, pp. 25–38, doi: 10.1080/2157930X.2010.551064.

- Luo, Y., Xu, L. and Wu, C. (2023), "Internet development and regional innovation efficiency: the moderating effect of intellectual property protection", *Technology Analysis and Strategic Management*, Routledge, doi: 10.1080/09537325.2023.2196350.
- Mahroum, S. and Al-Saleh, Y. (2013), "Towards a functional framework for measuring national innovation efficacy", *Technovation*, Vol. 33, pp. 320–332, doi: 10.1016/j.technovation.2013.03.013.
- Méndez-Morales, A., Ochoa-Urrego, R. and Randhir, T.O. (2022), "Measuring the quality of patents among Latin-American universities", *Studies in Higher Education*, Vol. 47 No. 11, pp. 2174–2189, doi: 10.1080/03075079.2021.2020749.
- Morero, H. (2010), "Sistemas de Innovación y competitividad de las empresas", *Astrolabio*, Vol. 5, doi: <https://doi.org/10.55441/1668.7515.n5.184>.
- Narayanan, E., binti Ismail, W.R. and bin Mustafa, Z. (2022), "A data-envelopment analysis-based systematic review of the literature on innovation performance", *Heliyon*, Elsevier Ltd, 1 December, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11925.
- Nasierowski, W. and Arcelus, F.J. (2003), "On the efficiency of national innovation systems", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 37, pp. 215–234, doi: 10.1016/S0038-0121(02)00046-0.
- OECD/Eurostat. (2018), *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*, OECD Publishing, Luxembourg, doi: 10.1787/9789264304604-en.
- Pan, T.W., Hung, S.W. and Lu, W.M. (2010), "Dea performance measurement of the national innovation system in Asia and Europe", *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 27 No. 3, pp. 369–392, doi: 10.1142/S0217595910002752.
- Rodríguez Ramírez, A. (2009), "Nuevas perspectivas para entender el emprendimiento empresarial", *Pensamiento y Gestión*, Vol. 26, pp. 94–119.
- Rodríguez-Cornejo, V., García-Valderrama, T., Sánchez-Ortiz, J. and Cabrera-Monroy, F. (2024), "R&D&I efficiency AS one OF the Sustainable Development Goals (SDGS) in Europe: Application of a dynamic model with network structure and Cumulative Divisional Malmquist index (CDMI)", *Expert Systems with Applications*, Elsevier Ltd, Vol. 238, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122338.
- Sebastián, J. (2000), "La cultura de la cooperación en la I+D+I", *Revista Espacios*, Vol. 21 No. 2.
- Sweezy, P.M. (1943), "Professor Schumpeter's Theory of Innovation", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 25 No. 1, p. 93, doi: 10.2307/1924551.
- Tong, L. and Liping, C. (2009), "Research on the Evaluation of Innovation Efficiency for China's Regional Innovation System by Utilizing DEA", *2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, Vol. 1, doi: 10.1109/ICIII.2009.53.
- Tranfield, D., Denyer, D. and Smart, P. (2003), "Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review", *British Journal of Management*, Vol. 14, pp. 207–222.
- Trigo, A. (2013), "The Nature of Innovation in R&D- and Non-R&D-Intensive Service Firms: Evidence from Firm-Level Latent Class Analysis", *Industry and Innovation*, Vol. 20 No. 1, pp. 48–68, doi: 10.1080/13662716.2013.761380.

Wang, B. and Liu, Y. (2023), “Calculating regional innovation efficiency and factor allocation in China: the price signal perspective”, *Applied Economics*, Routledge, doi: 10.1080/00036846.2023.2187038.

Wonglimpiyarat, J. (2010), “Innovation index and the innovative capacity of nations”, *Futures*, Vol. 42, pp. 247–253, doi: 10.1016/j.futures.2009.11.010.

Yoon, S., Chung, Y., Han, S. and Woo, C. (2024), “Do external risk factors increase or decrease country-level R&D efficiency: focused on air pollution and job insecurity?”, *Technology Analysis and Strategic Management*, Routledge, Vol. 36 No. 3, pp. 472–485, doi: 10.1080/09537325.2022.2036715.

Young Sohn, S., Ha Kim, D. and Yi Jeon, S. (2016), “Re-evaluation of global innovation index based on a structural equation model”, *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol. 28 No. 4, pp. 492–505, doi: 10.1080/09537325.2015.1104412.

Zhang, C. and Wang, X. (2019), “The influence of ICT-driven innovation: a comparative study on national innovation efficiency between developed and emerging countries”, *Behaviour & Information Technology* ISSN:, Vol. 38 No. 9, pp. 876–886, doi: 10.1080/0144929X.2019.1584645.

Zhao, C., Feng, F., Chen, Y. and Li, X. (2021), “Local government competition and regional innovation efficiency: From the perspective of China-style fiscal federalism”, *Science and Public Policy*, Vol. 48 No. 4, pp. 488–498, doi: 10.1093/scipol/scab023.

6. Anexos

6.1. Anexo A. Indicadores de entrada por dimensión

Indicador	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32		
R&D+i																																		
R&D GDP Spend	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
R&D personnel	x	x			x		x	x	x			x		x	x				x	x	x					x	x	x	x	x	x	x		
Innovative capacity				x					x	x	x			x		x	x			x	x													
Patent applications	x							x			x	x	x	x	x					x			x											
Science & Technology expenditures																													x	x				
Scientific and technical journal articles												x	x	x									x				x	x	x					
IPR protection					x			x	x																									
R&D commercialization													x											x										
Venture capital investment													x						x								x							
Knowledge and Innovation						x			x																									
Royalty and license fees are payments																							x				x							
Basic research (BR) is the basis for many commercial products and applied research.															x																			
R&D intensity					x																													
FDI inflows																				x							x							
SME Innovative						x																												
earlystage venture capital (% of GDP)						x																												
Industry capital stock															x																			
E-participation index										x																		x						
ISO Certification										x																								
Venture capital availability										x																								
University/industry research colaberation																												x						
Market Factors																																		
Imports of goods and services	x												x																					

Indicador	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	
Trademark applications, total per capita.		x																				x											
Market sophistication																x	x																
Credit																							x			x							
Investment																							x				x						
Trade, competition and market scale																							x										
Debt dynamics																							x										
Domestic competition																							x			x							
Trade openness																							x										
Venture capital easily available for business development																																	
Trade (per cent of GDP)																																	
Openness for international trade and investment.																																	
Prevalence of trade barriers																																	
Local equity market access																																	
Total entrepreneurship activity																																	
Opportunity to open up for new initiatives																																	
market capitalization																																	
Applied tariff rate																																	
Socio-Political factors																																	
Inflation																																	
Transparency																																	
Property rights																																	
Social capital																																	
Security																																	
Political environment																																	
Corruption Perception Index																																	
Political stability																																	
Financial Freedom																																	
Openness Indicator																																	
Technological regulation																																	
Regulatory quality																																	
Regulatory environment																																	
civil liberties																																	
Freedom of Speech																																	
physical integrity human rights																																	
Business environment																																	
Checks and balances																																	
Public-sector performance																																	
Corporate governance																																	
Local governments competition (Com)																																	
Local governments cooperation (Coo)																																	
Policy to create innovation																																	
Government procurement of advanced technology products																																	
Future orientation of government																																	
Entrepreneurial culture																																	
Interaction and diversity																																	
Knowledge transfer																																	
Foreign ownership restrictions																																	
Protecting investors																																	

Indicador	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	
National culture open to foreign ideas										x																							
Fiscal decentralization (FD)																									x								
Ecological sustainability																							x										
Government effectiveness																																	
Rule of law																																	
Cost of redundancy dismissal																																	
Ease of starting business																																	
Ease of resolving insolvency																																	
High-Tech																																	
High-technology exports (% of manufactured exports)										x													x										
High-tech imports															x					x													
High-technology exports (per cent of GDP)										x																							
Business Share of medium high tech and high-tech R&D (% of manufacturing R&D expenditures)																																	
SMEs using non technological change (% of SMEs)																																	
S&T personnel (10 thousand heads)																																	
Introduction of new methods/techniques to assist administrative work																																	
GDP																																	
GDP																																	
GDP Domestic Credit by Banking Sector																																	
Gross Domestic Expenditure on R&D (GERD)																																	
Infrastructure																																	
Internet Users																																	
ICTs																																	
Infrastructure																																	
Mobile-cellular telephone subscriptions																																	
Telecommunication Revenue																																	
Electric power consumption																																	
Paved Roads																																	
Registered carrier departures worldwide																																	
General infrastructure																																	
Transport infrastructure																																	
Utility infrastructure																																	
Internet bandwidth speed																																	
Technological cooperation																																	
Government's online service																																	
Education																																	
Gross capital formation (% of GDP)	x	x																															
Gross fixed capital formation																																	
Gross Enrolment Ratio Primary																																	
Gross Enrolment Ratio Secondary																																	
Gross Enrolment Ratio Tertiary																																	

Indicador	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	
Mean years of schooling																						X				X							
Public Expenditure on Education																							X				X						
Secondary Pupil-teacher ratio																											X						
Primary Pupil-teacher ratio																							X				X						
Unemployment with primary education (% of total unemployment)																							X										
Unemployment with secondary education (% of total unemployment).																							X										
Unemployment with tertiary education (% of total unemployment)																							X										
Tertiary education						X							X										X				X						
Science graduates in tertiary education													X														X						
Tertiary inbound mobility																											X						
Participation in lifelong learning							X						X																				
Human capital					X	X			X																								
Business funding share of higher education RD intensity					X																												
Prior accumulated knowledge stock breeding upstream knowledge production (AC KS KPP)										X																							
Prior accumulated knowledge stock participating in downstream knowledge commercialization (AC KS KCP)											X																						
University R&D expenditures financed by business sector						X																											
Literacy rate									X																								
Quality of education system									X																								
Quality of management schools										X																							
Introduction of new knowledge/training courses to employees				X																								X					
PISA scores									X									X									X						

