

Desempeño del sistema chileno de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCI): Un análisis comparativo de trayectorias*

Performance of the Chilean Science, Technology, Knowledge and Innovation System: A Comparative Analysis of Development Pathways

Cristián Gutiérrez-Rojas^a

Jerome Smith-Uldall^b

Luis Araya-Castillo^c

Clasificación: trabajo empírico-investigación

Recibido: 12 de diciembre, 2023

Revisado: 14 de junio, 2025

Aceptado: 16 de junio, 2025

Resumen

Una vasta literatura académica señala la importancia de la innovación en el crecimiento económico, lo que ha impulsado a los distintos países a incrementar de manera sostenida su esfuerzo innovador, especialmente en el gasto público destinado a la investigación y desarrollo (I+D), lo que pone de relieve la necesidad de que los agentes (públicos y privados) inviertan de manera eficiente los recursos disponibles para este fin. En este artículo se analiza en particular el desempeño del sistema de I+D de Chile en cuanto al resultado de su esfuerzo innovador comparándolo con otros sistemas para analizar en profundidad las características y mecanismos de las estrategias y/o políticas públicas en ciencia y tecnología que se estimaron más relevantes o tengan unas mejores perspectivas para la generación de aprendizajes y lineamientos para el caso chileno. Desde un enfoque sistémico de la innovación, y a partir de la aplicación de diversas técnicas cuantitativas, se concluye que Chile demuestra un sistema nacional de innovación con un desarrollo significativamente menor que los demás países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Este retraso es multidimensional y se manifiesta en diversas variables, incluyendo el financiamiento privado de la I+D, las publicaciones per cápita, las patentes y la productividad.

Palabras clave: Sistema Nacional de Innovación, I+D, OCDE, Chile, productividad.

Abstract

A vast academic literature points out the importance of innovation in economic growth, which has prompted many countries to steadily increase their innovative effort, especially public spending for R&D, highlighting the need for agents (public and private) to spend the resources available for R&D efficiently. This article analyses in particular the performance of the Chilean R&D system in terms of the result of its innovative effort, comparing it with other systems to analyse in depth the characteristics and mechanisms of the strategies and/or public policies in science and technology that are considered most relevant as guidelines for the Chilean case. From a systemic approach to innovation and by applying various quantitative techniques, we conclude that Chile has a national innovation system that is significantly less developed than other OECD countries. This lag is multidimensional and manifests itself in several variables, including private financing of R&D, publications per capita, patents, and productivity.

Keywords: National Innovation Systems, R&D, OECD, Chile, productivity

* Este artículo fue elaborado a partir de los resultados obtenidos en el proyecto "Análisis Estratégico de la Inversión Pública en Investigación y Desarrollo" financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile en el año 2021.

^a Facultad de Ingeniería y Empresa, Universidad Católica Silva Henríquez, Santiago, Chile. Correo electrónico: Email: cgutierrez@ucsh.cl

^b Facultad de Ingeniería y Empresa, Universidad Católica Silva Henríquez, Santiago, Chile. Correo electrónico: jsmith@ucsh.cl

^c Escuela de Negocios, Universidad Adolfo Ibáñez, Chile. Correo electrónico: luis.araya@uai.cl

■ Sección 1. Introducción

Chile tiene actualmente un gasto en I+D respecto al producto interno bruto (PIB) que lo posiciona entre los países de la OCDE que menos invierte en estas materias. El financiamiento de empresas en la ejecución de I+D también es menor a la del promedio OCDE, con un 30 % del total de la I+D financiada por empresas, lejano al 63% de la OCDE.

Lo anterior es preocupante toda vez que una vasta literatura académica indica que uno de los determinantes más reconocidos del crecimiento económico de los países es la innovación. Autores como Schumpeter (1939), Solow (1956), Abramovitz (1956), Griliches (1986), Fagerberg (1988) y Freeman (1994) reconocen a la innovación como un factor clave para el desarrollo. Por otro lado, autores como Freeman (1987), Porter (1990) y Nelson (1993) señalan que la obtención de tecnologías nuevas y avanzadas es un determinante importante de la posición competitiva de un país o región. Por lo tanto, la innovación sería la única forma para que un país pueda generar, a largo plazo, una mejor posición competitiva y un crecimiento económico sostenible.

Todo lo anterior ha impulsado a los países a incrementar de manera sostenida su esfuerzo innovador, especialmente el gasto público destinado a la I+D. Sin embargo, dadas las restricciones presupuestarias y financieras que enfrentan los gobiernos, es importante, además del mayor empuje innovador, la asignación eficiente de los recursos, optimizando resultados y minimizando los costos. Ambos aspectos ponen de relieve la necesidad de que los agentes (públicos y privados) gasten de manera eficiente los recursos disponibles para la I+D.

Dado lo expuesto, surgen las siguientes preguntas de investigación que este artículo intenta responder: ¿Cuáles son las estrategias y políticas públicas de innovación que han implementado los países de la OCDE que han sido exitosos en innovación? ¿Cuáles de ellas sirven como aprendizajes para potenciar la innovación en Chile? Las respuestas podrían servir de guía para orientar políticas públicas que fomenten el crecimiento de la innovación en Chile.

Si bien hay una amplia literatura académica sobre los factores que favorecen la innovación en Chile y el mundo, según nuestros conocimientos hay pocos estudios específicos sobre políticas en I+D de los países de la OCDE desde la perspectiva de aplicarlas en Chile.

La sección 2 expone la revisión de la literatura y explica el marco conceptual que sirve de base para el análisis aplicado; la sección 3, presenta los datos, sus fuentes y los métodos usados; la sección 4, los resultados, y la sección 5, concluye.

■ Sección 2. Revisión de la literatura y marco conceptual

El enfoque del marco conceptual que se utiliza en el presente artículo está basado en la medición de los sistemas de innovación mediante el uso de indicadores compuestos. Para esto, se realizó una revisión de literatura que permitiera entregar los elementos necesarios para el desarrollo conceptual tomando como base la idea de “sistemas de innovación”. Estos, se refieren al conjunto de agentes que desarrollan actividades de creación y difusión de (nuevo) conocimiento —así como de las interacciones entre ellos— dentro de ciertos límites geográficos e institucionales, buscando generar innovaciones. Estas innovaciones —principalmente tecnológicas— son, en un sentido “schumpeteriano”, la fuerza motora detrás del desarrollo y el crecimiento económico (Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Nelson, 1993; Edquist, 1997, 2005; Aghion *et al.*, 2013). En el presente artículo se usan indistintamente los conceptos de sistemas de innovación y sistemas de ciencia, tecnología, conocimiento e innovación (CTCI).

■ Sistemas de Innovación: Conceptos teóricos

El sistema nacional de innovación (SNI) es uno de los conceptos que ha visto revalorizada su importancia, lo que se refleja en los numerosos aportes académicos publicados al respecto. Este concepto refleja el proceso de la división del trabajo en el campo de la innovación, con la participación de un amplio conjunto de agentes e instituciones que se interrelacionan entre sí, y cuyas actividades

deberían generar sinergias o ahorrar costos. De hecho, la innovación es una actividad cada vez más compleja e interdisciplinaria y su desarrollo exige la interacción de un elevado número de instituciones, organismos y empresas.

Las actividades de estos agentes del sistema de innovación son en muchas ocasiones complementarias, basadas en una división del trabajo, en la que los grandes centros públicos de investigación (incluidas las universidades) se dedican a la investigación básica que, a menudo, no resulta económicamente explotable de forma directa; en tanto que las empresas se enfocan en desarrollar nuevos productos o procesos mediante la investigación aplicada y el desarrollo experimental. Se asume que la ciencia se dedica al análisis de leyes generales y la comprobación de tales teorías, mientras que la investigación aplicada se enfoca a la transformación de los conocimientos hacia transformaciones productivas que pueden ser o no verificables por la ciencia. En el intermedio existe un amplio conjunto de organismos e instituciones que se ocupan de la transformación de los conocimientos científicos a productos comercializables y en la transferencia, difusión y adaptación de las nuevas tecnologías (Gutiérrez, 2018).

La rápida difusión del concepto de SNI, tanto a nivel académico como gubernamental, se debe a las definiciones relativamente abiertas del mismo concepto, que resultaron compatibles con toda una serie de corrientes teóricas que, a pesar de partir de postulados distintos a los de la economía de la innovación, encajaron en esta y acabaron completando y ampliando el concepto original, entre otros, hacia un ámbito de análisis subnacional, no solo regional, sino también local y sectorial. El concepto del sistema nacional y/o regional de innovación es resultado de la fusión de diversos enfoques teóricos. Se basa, inicialmente, en los conceptos de distrito industrial (Marshall, 1919), polos de crecimiento (Perroux, 1955) y en la teoría de los clústeres (Porter, 1990). Estos enfoques tienen en común la importancia que adjudican a la proximidad espacial, las externalidades, la cultura e identidad nacional y el proceso de aprendizaje colectivo o regional (Koschatzky, 2000) y, por otro, en los resultados de la teoría

del crecimiento que subrayan la importancia de la innovación para tales áreas geográficas.

No cabe duda de que existen diferencias claras entre los sistemas de innovación de distintos países, pero hablando de SNI se supone, de forma implícita, que existe una cierta homogeneidad interna entre las regiones que lo forman, aunque esto constituya una abstracción poco realista (Lundvall, 1992). El sistema nacional de innovación de un país dado no refleja un panorama global que, a su vez, caracteriza la realidad de cada una de sus regiones, sino que más bien resulta casi imposible equiparar un sistema nacional de innovación a los sistemas regionales. De hecho, en ocasiones cuando se habla del sistema de innovación japonés o alemán, a lo que se está haciendo referencia en realidad es al sistema innovador de sus regiones tecnológicamente más avanzadas (Buesa y Heijs, 2016).

La parte 'sistémica' del SNI se revela debido a que muchos aspectos distintos en diferentes partes de la economía y la sociedad en general parecían comportarse de acuerdo con las necesidades de otras partes, como si muchos circuitos de retroalimentación positiva estuvieran operando de forma más o menos sincronizada. La OECD (1994) afirma al respecto, que:

Los resultados innovadores globales de una economía no dependen tanto del desempeño específico llevado a cabo por parte de las instituciones formales (empresas, centros de investigación, universidades, etc.), sino de la forma en que interactúan entre ellas, como elementos de un sistema colectivo de creación y uso de conocimiento, y del grado de interacción con las infraestructuras sociales (valores, normas y el marco jurídico). (p. 4)

El SNI es un sistema heterogéneo, dinámico y abierto, caracterizado por la retroalimentación positiva y por la reproducción. Como afirma Lundvall (1992):

Con frecuencia, los elementos del sistema de innovación se refuerzan mutuamente en

la promoción de procesos de aprendizaje e innovación o, a la inversa, se combinan en grupos, bloqueando dichos procesos. La causalidad acumulativa, y los círculos virtuosos o viciosos, son características de los sistemas y subsistemas de innovación.

Respecto a esto, la transferencia tecnológica y el aprendizaje son aspectos importantes de los procesos de interacción, y las actividades innovadoras requieren un ambiente innovador donde es importante el intercambio recíproco de personal, conocimientos científicos y tecnológicos, servicios especializados e impulsos innovadores (Stöhr, 1987; Perrin, 1986, 1988; Koschatzky, 1997).

En los últimos años, el concepto de sistema de innovación ha evolucionado hacia el concepto de ecosistema de innovación en el intento por reflejar una comprensión más integrada y dinámica del proceso innovador. De acuerdo con Escobar *et al.* (2017):

La idea central de un ecosistema de innovación es que ésta puede ser entendida como un proceso evolutivo que toma lugar en un ecosistema heterogéneo (Londoño, 2012), compuesto por organizaciones e individuos en interacción (Carrillo y Contreras, 2015), como un ecosistema social, que opera de la misma manera que los biológicos (Bloom y Dees, 2008).

Un ecosistema de innovación no solo considera las instituciones y actores, sino también las conexiones, flujos de información, recursos compartidos y la cultura que favorece la creatividad y el emprendimiento. De esta manera se pretende destacar la interacción orgánica y fluida de todos los componentes del entorno innovador, facilitando un entorno más adaptable y propicio para el avance tecnológico y social.

Autores como Jucevičius y Grumadaitė (2014), Oh *et al.* (2014) y Papaioannou *et al.* (2007) cuestionan el uso de la analogía entre estos sistemas y otros modelos, destacando la importancia de ser cautelosos al realizar comparaciones directas entre sistemas biológicos y socioeconómicos. Argumentan que tales analogías no solo son

imprecisas, sino que también pueden inducir a problemas de reduccionismo y funcionalismo (Escobar *et al.*, 2017). En esta línea, Oh *et al.* (2014) señalan que la comparación con los ecosistemas naturales también resulta insuficiente, ya que un ecosistema de innovación no es una entidad evolutiva, sino más bien una estructura diseñada (Papaioannou *et al.*, 2007; citado en Escobar *et al.*, 2017).

Respecto a la evolución del concepto de sistema de innovación, López-Zurita *et al.* (2024), a partir de un análisis bibliométrico, encuentran que el número de investigaciones vinculadas al concepto sigue en crecimiento concentrándose en los países desarrollados y diferenciándose claramente entre los diversos tipos de acuerdo al espacio que representan: nacional, regional, sectorial y tecnológico. Por otro lado, existe una nueva línea de investigación relacionada a la evaluación de impactos de políticas en innovación en el marco de los sistemas de innovación, particularmente nacionales (Lundvall, 2023; Vlasova y Saprykina, 2023; Sun y Kenney, 2024).

Elementos del Sistema Nacional de Innovación y su interacción

En este artículo se divide el SNI, siguiendo a Buesa y Heijs (2016) y Gutiérrez (2018), en cuatro subsistemas (figura 1):

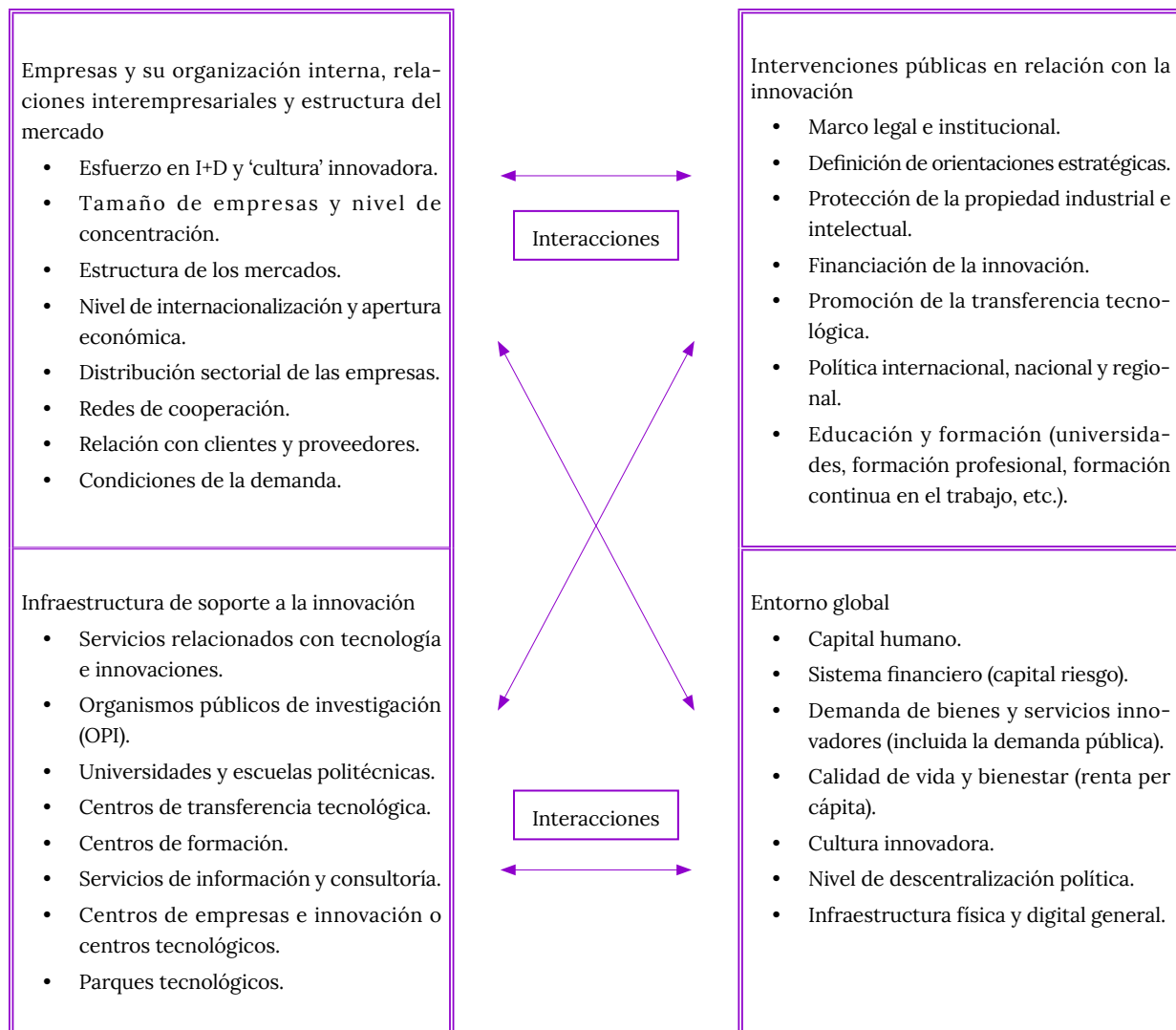
1. Las empresas con sus relaciones interempresariales y las estructuras de mercado;
2. las intervenciones públicas en relación con la innovación y el desarrollo tecnológico (incluido el marco legal e institucional y la política tecnológica);
3. la infraestructura pública y privada de soporte a la innovación;
4. el entorno nacional.

Las diferencias entre los países en cuanto a la configuración de estos elementos son importantes y resultan decisivas para el funcionamiento del sistema nacional en su conjunto. La figura 1 indica los principales componentes de estos cuatro subsistemas. En realidad, la frontera entre ellos es a veces difusa y existe cierto solapamiento entre los distintos ámbitos, por ejemplo,

la política tecnológica forma parte de la infraestructura pública de soporte a la innovación; es decir, no siempre resulta fácil clasificar cada uno de los factores o actores exclusivamente en función de los cuatro subsistemas aquí utilizados. No obstante, tal clasificación —igual que el concepto del sistema nacional de innovación— resulta muy útil como esquema analítico para estudiar un tema tan complejo como la innovación (Buesa y Heijs, 2016).

Cabe resaltar que aquí se maneja un concepto de innovación muy amplio, lo que implica que el sistema de CTCI no incluye solo los agentes y factores directamente ligados a las actividades de investigación y desarrollo, sino también a otros agentes o factores que influyen de forma indirecta sobre las actividades innovadoras. Estos aspectos —que forman en general parte del entorno global— son, entre otros, el sistema financiero y el capital riesgo, el sistema de educación o la demanda (Gutiérrez, 2018).

Figura 1. Los distintos componentes teóricos de un sistema nacional de innovación.



Fuente: elaboración propia con base en Buesa y Heijs, 2016.

El uso de indicadores compuestos o sintéticos como una aproximación holística para medir los sistemas de innovación

Como se argumentó en la sección 1, los sistemas de innovación —y cada uno de sus subsistemas— son realidades complejas en las que participan múltiples agentes y cuya configuración institucional puede ser muy variada. Esto hace que, para su representación, sea imprescindible recurrir al empleo de múltiples variables (muchas de ellas altamente correlacionadas). Para poder trabajar en los modelos econométricos con una gran cantidad de variables o indicadores correlacionados, se debe resumir la información contenida en las variables originales, creando un número menor de variables sintéticas de carácter abstracto —a las que se denominan factores—, aunque identificables con respecto a los elementos que conforman los subsistemas de innovación reflejados en la figura 1.

En esta sección se discute la necesidad y las ventajas de usar variables compuestas o sintéticas, cuya justificación viene dada por distintas razones complementarias, tanto de carácter teórico o conceptual, como por los requerimientos de la modelización econométrica. Desde un punto de vista conceptual, las variables sintéticas son importantes porque existen dudas si ciertas variables individuales reflejan de forma correcta las características de un sistema de innovación y su potencial. Por otro lado, los indicadores compuestos resuelven problemas econométricos (como, entre otros, la multicolinealidad y la falta de grados de libertad en los modelos de regresión) o metodológicos (suavizan la existencia de *outliers* o errores en las estadísticas).

En esta sección se debate primero las razones conceptuales, seguidas por las ventajas metodológicas y, al final, se discuten las fortalezas y debilidades de las variables compuestas.

Desde el punto de vista conceptual, la teoría evolucionista subraya la heterogeneidad del comportamiento innovador como una actividad multidimensional que está afectada directamente por su entorno económico y social donde participa un gran número de agentes, instituciones y factores que interactúan en un marco

sistémico basado en un gran número de relaciones interdependientes, que su vez dificultan el establecimiento de relaciones causales unidireccionales. Además, un gran número de aspectos del entorno —no directamente relacionados con la I+D— tiene un impacto directo sobre las actividades innovadoras. Todo ello implica que un sistema de innovación es un concepto abstracto difícil de medir de forma directa a base de variables individuales. De hecho, muchos indicadores individuales reflejan conceptos muy parecidos y pueden ser sustituidos entre ellos. La gran mayoría de estas variables están altamente correlacionadas, pero resulta que cada uno de los indicadores individuales que refleja aparentemente el mismo aspecto del sistema de innovación ofrece un panorama a veces muy distinto y su uso elimina la simultaneidad o el carácter holístico del comportamiento innovador. O, como indican Makkonen y van Der Have (2013): “un indicador individual es sólo una indicación parcial del esfuerzo innovador total realizado por un sujeto” (p. 251). Por lo tanto, el uso de indicadores compuestos reflejaría mejor la realidad que cada uno de ellos de forma individual.

A pesar de las ventajas de usar indicadores compuestos, existen también críticas respecto a su uso, su utilidad y calidad respecto a su elaboración o confección (Hollenstein, 1996; Buesa *et al.*, 2006; OECD, 2008; Grupp y Schubert, 2010; Makkonen y van Der Have, 2013). El primer problema sería la forma de ponderación o el peso de cada variable individual en el proceso de su agregación al indicador compuesto (Grupp y Schubert, 2010; Cerulli y Filipetty, 2012). Ciertos autores indican que especialmente en el caso de una correlación muy alta entre las variables, el uso de un indicador compuesto no siempre será superior al uso de variables individuales, ya que posiblemente llegarían a conclusiones muy parecidas. Aunque es verdad que en este caso los indicadores compuestos no solucionan un problema real, tampoco sería peor que las variables individuales. Además, aunque no sería superior en la mayoría de los casos, posiblemente corrige el problema de valores atípicos o extremos.

La creación de indicadores compuestos y la ponderación del peso de las variables incluidas

deben hacerse —en nuestra opinión— por parte de los organismos internacionales. Aunque, como se acaba de indicar, sería difícil sino imposible llegar a consensos en este tema que satisfagan todos los argumentos teóricos, políticos y estadísticos. Sin embargo, esta misma imposibilidad de consenso también existe —e incluso podría ser peor— en el momento de decidir cuál de las variables individuales representan mejor cierta actividad o elemento de un sistema nacional de innovación.

Los problemas mencionados en esta sección están lejos de resolverse de forma unánime y consensuada. La creación de indicadores compuestos en el campo de los sistemas de innovación es un fenómeno todavía novedoso y se requiere la construcción de un consenso y la estandarización del modelo metodológico para elaborar los índices sintéticos y la ponderación de las variables incluidas en ellos. En palabras de Grupp y Schubert (2010):

Resumiendo un debate que viene prolongándose desde hace décadas, la medición de la ciencia y la tecnología requiere seguir una aproximación multidimensional. Hasta ahora no se ha desarrollado una variable ‘catch-all’ que recoja de forma satisfactoria todas las facetas de la ciencia e innovación. (p. 68)

Concluyendo, para el presente artículo acerca de la configuración y la eficiencia de los sistemas nacionales de innovación, se aplica —por las razones mencionadas en esta sección— una metodología que permite la reducción de la información de un conjunto amplio de variables a unas pocas variables hipotéticas o no-observables (factores). Cada uno de los factores refleja los

aspectos esenciales (siendo los distintos componentes o subsistemas) del SNI. Además, como se argumentará, estos factores o variables sintéticas reflejan mejor la realidad de cada componente del SNI que podría hacer cada una de las variables individuales. Esta metodología se podría considerar holística ya que trabaja con un gran número de variables muy heterogéneas. Las variables sintéticas así obtenidas (reflejadas en la puntuación factorial de los factores obtenidos) se utilizarán para los análisis posteriores como la elaboración de un índice de eficiencia a nivel nacional.

El problema de subjetividad en la ponderación de las distintas variables se ha solucionado mediante el uso del método del ‘análisis factorial’, en el que la ponderación no depende de criterios subjetivos, sino del propio método factorial.

■ Sección 3. Metodología

▮ Reproducibilidad

En aras de la investigación reproducible, a continuación, hemos colocado los archivos de datos y códigos usados en el método en un repositorio compartido de GitHub, en el siguiente enlace:

<https://github.com/jerosmith/P05-Desempeno-del-Sistema-Chileno-de-Ciencia-Tecnologia-Conocimiento-e-Innovacion/tree/main>

▮ Variables

Se usaron un total de 133 variables. La nómina completa de variables está consignada en la tabla 1.

▮ Fuentes de Datos

Las organizaciones cuyos datos se han usado se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Variables usadas

N°	Variable
1	Desarrollo e inserción de capital humano avanzado
2	Proporción de empresas que usan internet
3	Tamaño de la fuerza de trabajo
4	Trabajadores en la agricultura
5	Trabajadores en la agricultura
6	Trabajadores en ciencia y tecnología (HRST)
7	Trabajadores en ciencia y tecnología (HRST)
8	Fuerza de trabajo con educación superior
9	Trabajadores en manufactura
10	Trabajadores en manufactura
11	Investigadore(a)s
12	Investigadores en establecimientos de educación superior
13	Investigadores en establecimientos de educación superior como porcentaje de la fuerza de trabajo
14	Investigadore(a)s como porcentaje de la fuerza de trabajo
15	Investigadores del sector privado
16	Investigadores del sector privado como porcentaje de la fuerza de trabajo
17	Investigadores del sector público
18	Investigadores del sector público como porcentaje de la fuerza de trabajo
19	Cantidad de usuarios de internet
20	Tasa de alfabetismo
21	Tasa de educación básica
22	Tasa de educación media
23	Educación permanente
24	Tasa de educación superior
25	Tasa de graduados de carreras técnicas versus profesionales.
26	Trabajadores en I+D
27	Trabajadores en I+D en establecimientos de educación superior
28	Trabajadores en I+D en establecimientos de educación superior como porcentaje de la fuerza de trabajo
29	Trabajadores en I+D como porcentaje de la fuerza de trabajo
30	Trabajadores en I+D privado
31	Trabajadores en I+D privado como porcentaje de la fuerza de trabajo
32	Trabajadores en I+D público
33	Trabajadores en I+D público como porcentaje de la fuerza de trabajo
34	Población
35	Índice de complejidad económica
36	Nivel de exportaciones
37	Exportaciones como % del PIB
38	Inversión en capital físico
39	Inversión en capital físico como % del PIB

(Continúa)

N°	Variable
40	Matriz productiva
41	Matriz productiva
42	PIB (<i>output</i>)
43	Crecimiento del PIB
44	Tasa de desempleo
45	Ejecución educación superior en I+D
46	Ejecución educación superior en I+D % I+D
47	Ejecución educación superior en I+D % PIB
48	Ejecución empresas en I+D
49	Ejecución empresas en I+D % I+D
50	Ejecución empresas en I+D % PIB
51	Ejecución gobierno en I+D
52	Ejecución gobierno en I+D % I+D
53	Ejecución gobierno en I+D % PIB
54	Ejecución ONG en I+D
55	Ejecución ONG en I+D % I+D
56	Ejecución ONG en I+D % PIB
57	Financiamiento educación superior de I+D
58	Financiamiento educación superior de I+D % I+D
59	Financiamiento educación superior de I+D % PIB
60	Financiamiento empresas de I+D
61	Financiamiento empresas de I+D % I+D
62	Financiamiento empresas de I+D % PIB
63	Financiamiento gobierno de I+D
64	Financiamiento gobierno de I+D % I+D
65	Financiamiento gobierno de I+D % PIB
66	Financiamiento ONG de I+D
67	Financiamiento ONG de I+D % I+D
68	Financiamiento ONG de I+D % PIB
69	Gasto en I+D
70	Gasto en I+D aplicada
71	Tasa de investigación aplicada
72	I+D respecto al total de investigadore(a)s
73	Gasto en I+D pura
74	Tasa de investigación pura
75	I+D respecto al total de trabajadores en I+D
76	Intensidad I+D
77	Financiamiento directo del gobierno del gasto en I+D empresarial
78	Financiamiento indirecto del gobierno del gasto en I+D empresarial mediante incentivos tributarios
79	Financiamiento indirecto del gobierno del gasto en I+D empresarial mediante incentivos tributarios subnacionales

(Continúa)

N°	Variable
80	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en agricultura
81	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en agricultura, como porcentaje del total GBARD
82	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en avance del conocimiento, no canalizado por las universidades
83	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en avance del conocimiento, no canalizado por las universidades, como porcentaje del total GBARD
84	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en avance del conocimiento, canalizado por las universidades
85	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en avance del conocimiento, canalizado por las universidades, como porcentaje del total GBARD
86	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en cultura
87	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en cultura, como porcentaje del total GBARD
88	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en defensa
89	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en defensa, como porcentaje del total GBARD
90	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en educación
91	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en educación, como porcentaje del total GBARD
92	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en energía
93	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en energía, como porcentaje del total GBARD
94	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en exploración y explotación del espacio
95	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en exploración y explotación del espacio, como porcentaje del total GBARD
96	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en industria y tecnología
97	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en industria y tecnología, como porcentaje del total GBARD
98	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en medio ambiente
99	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en medio ambiente, como porcentaje del total GBARD
100	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en sistemas políticos y sociales
101	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en sistemas políticos y sociales, como porcentaje del total GBARD
102	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en salud
103	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en salud, como porcentaje del total GBARD
104	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en exploración y explotación de la Tierra
105	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en exploración y explotación de la Tierra, como porcentaje del total GBARD
106	Asignación presupuestaria total del gobierno para I+D
107	Asignación presupuestaria total del gobierno para I+D, como porcentaje del PIB
108	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en transporte y tecnologías de información y comunicación (TIC)
109	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D en transporte y tecnologías de información y comunicación (TIC), como porcentaje del total GBARD
110	Global Innovation Index
111	Asignación presupuestaria total del gobierno para I+D, como porcentaje del total GBARD
112	Número de patentes otorgadas por país del inventor per cápita
113	Número de patentes otorgadas por país del postulante
114	Número de patentes otorgadas por país del postulante per cápita
115	Cantidad de patentes solicitadas a la EPO por país del inventor
116	Cantidad de patentes solicitadas a la EPO por país del inventor per cápita

(Continúa)

N°	Variable
117	Cantidad de patentes solicitadas a la EPO por país del postulante
118	Cantidad de patentes solicitadas a la EPO por país del postulante per cápita
119	Número de patentes otorgadas por país del inventor
120	Número de patentes otorgadas por país del inventor per cápita
121	Número de patentes otorgadas por país del postulante
122	Número de patentes otorgadas por país del postulante per cápita
123	Número de patentes solicitadas a la USPTO por país del inventor
124	Número de patentes solicitadas a la USPTO por país del inventor per cápita
125	Número de patentes solicitadas a la USPTO por país del postulante
126	Número de patentes solicitadas a la USPTO por país del postulante per cápita
127	PIB per cápita
128	Productividad de la fuerza de trabajo
129	Nivel de producción científica
130	Nivel de producción científica per cápita
131	Asignación presupuestaria gobierno para I+D no orientado como % del GBARD civil
132	Asignación presupuestaria del gobierno para I+D civil como % del GBARD total
133	Asignación presupuestaria gobierno para I+D no orientado como % del PIB

Fuente: elaboración propia. Oficina de Patentes Europea (EPO por sus siglas en inglés), patentes solicitadas ante la Oficina de Patentes de los Estados Unidos (USPTO por sus siglas en inglés).

Tabla 2. Fuentes de datos

N°	Organización	URL
1	OECD	https://stats.oecd.org
2	World Bank	https://data.worldbank.org
3	Our World in Data	https://ourworldindata.org
4	PRS Group	https://www.prsgroup.com
5	IHS Markit	https://ihsmarkit.com/index.html
6	SCImago	https://www.scimagojr.com
7	WIPO	https://www3.wipo.int
8	The Observatory of Economic Complexity	https://oec.world
9	Webometrics	https://www.webometrics.info/en
10	Eurostat	https://ec.europa.eu/eurostat/data/database
11	Penn World Table	https://www.rug.nl/ggdc/
12	Shanghai World University Ranking	https://public.opendatasoft.com/explore/dataset/shanghai-world-university-ranking/table/?sort=world_rank
13	Economist Intelligence Unit	https://www.eiu.com/n/campaigns/democracy-index-2020/

Fuente: elaboración propia.

■ Análisis exploratorio

El objetivo del análisis descriptivo y exploratorio es identificar los países que hace unos 20 años eran similares a Chile del presente, y de ellos seleccionar aquellos que más han crecido en indicadores claves para el sistema de CTCL.

Para definir “similitud a Chile” se usó la gama completa de 133 variables en la base de datos elaborada.

En cambio, los indicadores clave son una selección pequeña de variables, específicamente los siguientes:

1. Financiamiento privado de I+D como % del PIB
2. Publicaciones por cápita
3. Patentes European Patent Office (EPO) solicitadas por millón de habitantes
4. Patentes United States Patent and Trademarks Office (USPTO) solicitadas por millón de habitantes
5. Productividad (US\$ PPP por hora)

Los períodos t_0 , “antes”, y t_1 , “presente”, se definen a continuación:

t_0 = Primer lustro del siglo 21: 2001-2005

t_1 = Lustro presente: 2017-2021

Para cada país, se calculó el valor promedio de cada variable en cada periodo. El promedio

$\bar{x}_i(j, t_0)$ de la variable x_i del país j en el periodo t_0 está dado por (ecuación 1):

$$\bar{x}_i(j, t_0) = \frac{1}{5} \sum_{t=2001}^{2005} x_i(j, t) \dots (1)$$

Asimismo, el promedio $\bar{x}_i(j, t_1)$ de la variable x_i del país j en el periodo t_1 está dado por (ecuación 2):

$$\bar{x}_i(j, t_1) = \frac{1}{5} \sum_{t=2017}^{2021} x_i(j, t) \dots (2)$$

A continuación, se calculó, para cada variable y país, la diferencia porcentual de la variable en el periodo t_0 con respecto al valor de la variable para Chile en el periodo t_1 . Sea c el valor de j correspondiente a Chile; entonces la diferencia porcentual para la variable x_i y país j fue (ecuación 3):

$$\delta(i, j) = \frac{\bar{x}_i(j, t_0) - \bar{x}_i(c, t_1)}{|\bar{x}_i(c, t_1)|} \dots (3)$$

Luego, la distancia euclidiana desde Chile presente del país j en el periodo t_0 está dada por (ecuación 4):

$$D(j) = \sqrt{\sum_{i=1}^{130} \delta(i, j)^2} \dots (4)$$

Mediante este método se obtuvo un ranking de los 38 países de la OCDE en cuanto a su similitud con Chile, el cual está resumido en la tabla 3 en la sección de resultados.

Tabla 3. Países de la OCDE con mayor crecimiento en financiamiento privado de la I+D como % del PIB

Rank	País	Distancia	Lustro un siglo 21 (200-2005)	Lustro presente (2017-2021)	Crecimiento
1	Polonia	258	0.18 %	0.59 %	238 %
2	Grecia	230	0.17 %	0.52 %	205 %
3	Colombia	222	0.04 %	0.11 %	165 %
4	Portugal	68	0.24 %	0.64 %	164 %
5	Turquía	293	0.21 %	0.54 %	158 %
6	Hungría	258	0.31 %	0.74 %	136 %
7	Estonia	427	0.27 %	0.57 %	109 %
8	Lituania	442	0.17 %	0.34 %	99 %
9	Corea	6007	1.73 %	3.43 %	98 %
10	Italia	2908	0.41 %	0.76 %	86 %

Fuente: elaboración propia.

Las unidades de análisis y el período del estudio para el análisis factorial

Las unidades de análisis iniciales correspondieron a países miembros de la OCDE, en específico 38, los cuales corresponden a unidades de análisis estadísticos del mayor nivel político-administrativo del Estado. De esta manera se asume que todos tienen ámbitos competenciales independientes y parecidos en materia económica y de I+D. Con estos países se configuró la base de datos inicial compuesta por 133 variables y para el periodo de tiempo que corresponde entre 1981 y 2021 (aunque se tienen series desde 1941 para algunas variables).

El primer criterio para la selección final de países, años y variables fue la disponibilidad de datos por años, variables y países. El resultado de este análisis de completitud fue que la selección de datos consistió en los años 2001 a 2017, 84 variables y 30 países.

El segundo criterio, ahora para la selección final de variables fue determinado por el propio análisis factorial, a través de un proceso de prueba y error, de tal manera de ir cumpliendo las exigencias estadísticas del modelamiento, en particular el porcentaje mínimo de variabilidad que se debe mantener del conjunto inicial de variables, y por otro, satisfacer la configuración de los sistemas CTCI de acuerdo al marco conceptual utilizado.

Variables utilizadas en el modelo factorial

Como todos los estudios empíricos, la identificación y selección de las variables es de especial trascendencia para asegurar la calidad de los resultados y para su correcta interpretación. Después de la selección inicial de 84 variables, el propio análisis factorial condujo a estudiar los sistemas de CTCI con 34 variables. No se debe olvidar que el primer paso del estudio consiste justamente en un análisis factorial con el fin de reducir el conjunto de variables iniciales a unas pocas variables sintéticas no observables que reflejen los aspectos esenciales de los sistemas de CTCI. De esta manera, la aplicación del análisis factorial ha reducido el amplio número de variables iniciales a cinco factores o variables sintéticas, las cuales a su vez incluyen las 34 variables. A continuación se describen aquellas

variables que miden el *input* o el esfuerzo de los sistemas de CTCI que tuvieron cabida en este análisis, debatiendo su importancia conceptual y sus limitaciones. De esta manera, en las próximas páginas se comenta la idoneidad de las variables utilizadas siguiendo el orden sucesivo: (1) El esfuerzo o *input* innovador, (2) el contexto socioeconómico y (3) el capital humano.

Variables input de los procesos de innovación

Medición del esfuerzo o input de los sistemas de CTCI

El insumo de mayor incidencia de acuerdo a distintos enfoques teóricos es el que representa el esfuerzo innovador que se mide tradicionalmente por el gasto en I+D. Este, recoge todos los medios financieros destinados a esta actividad, e incluye tanto los gastos corrientes como los de capital y ha sido calculado en términos absolutos como por porcentaje sobre el Producto Interno Bruto. Todas las variables monetarias han sido deflactadas y expresadas en dólares (US\$) PPP 2015. Además, se han incorporado tanto variables de financiamiento como de ejecución.

Las variables de esfuerzo de I+D, a su vez, se desglosan para cada uno de los tres tipos de agentes principales del sistema de CTCI siendo, de acuerdo con las recomendaciones del Manual de Frascati (2015): las empresas, la enseñanza superior (universidad) y las administraciones públicas. El sector “empresas” incluye a las empresas, organismos e instituciones cuya actividad principal es la producción de bienes y servicios destinados a la venta a un precio que corresponda a la realidad económica (se entiende por empresa toda unidad jurídica que constituye una unidad organizativa de producción de bienes y servicios, y que disfruta de una cierta autonomía de decisión, principalmente a la hora de emplear los recursos corrientes de que dispone). El sector “administración pública (AP)” comprende los organismos que suministran al país, gratuitamente o a precios tasados, servicios de interés público que no serían económicos ni fáciles de suministrar de otro modo, administran los asuntos públicos y se ocupan de llevar a cabo la política económica y social de la colectividad. Finalmente, el sector “enseñanza superior” (en adelante, Universidad), está formado

por todas las universidades (facultades, escuelas técnicas superiores y escuelas universitarias), institutos tecnológicos y otros establecimientos postsecundarios, cualquiera que sea el origen de sus recursos financieros y su situación jurídica. Comprende igualmente todos los institutos de investigación; estaciones de ensayo; observatorios astronómicos; y clínicas que estén bajo el control directo de los establecimientos de enseñanza superior, son administrados por ellos o están asociados a estos últimos.

Variables del contexto socioeconómico de los sistemas de CTCl

Como se ha indicado en el marco conceptual, la noción de entorno global incluye diversos aspectos que de forma indirecta influyen sobre la capacidad tecnológica de un país, como podría ser el sistema educativo, el nivel del capital humano, el sistema financiero (capital riesgo), el grado de exigencia de los demandantes de bienes y servicios, la cultura y el nivel de vida. Así se han introducido diversas variables que reflejan el contexto socioeconómico.

La primera de ellas —que se incluye de forma indirecta— es el tamaño. A la hora de trabajar con países muy heterogéneos se debe tomar en consideración el tamaño de los mismos. Por este motivo, es aconsejable corregir las distintas variables por el tamaño poblacional o económico, lo que se ha hecho oportunamente a través del número de habitantes medio anual o producto interno bruto (PIB). Además, se han incorporado variables que describen la realidad económica de los países. Para lo anterior se han agregado variables como el PIB per cápita y la productividad aparente del trabajo.

Otro aspecto importante del entorno es el nivel de riqueza y la capacidad productiva del país en términos relativos, que se ha introducido mediante dos variables. En primer lugar, el PIB per cápita indica el nivel de vida, y de forma indirecta el nivel tecnológico de la demanda de los consumidores. En el caso de un alto nivel de PIB per cápita, los consumidores exigen productos de un mayor nivel de calidad y prestaciones, lo que a su vez induce a las empresas a aumentar su esfuerzo innovador (*demand pull*). Por otro lado, un mayor

nivel de vida y salarios altos sirven para atraer a nuevos talentos y a los mejores investigadores y/o inventores. La segunda variable, correlacionada de forma directa al PIB per cápita y ligada al nivel innovador de una región o industria es la productividad aparente. Estas magnitudes suelen incrementarse según se acrecienta el nivel tecnológico del país o de una industria nacional en concreto, siendo mucho mayor en industrias de media y alta tecnología que en las industrias más tradicionales (*technology push*).

Como último aspecto del entorno socioeconómico se incluye el grado de apertura comercial de las economías, en particular las exportaciones como porcentaje del PIB.

Otras variables del entorno con cierta importancia (figura 1) no se han podido incluir por falta de datos estadísticos disponibles públicamente como, la calidad de las universidades, el nivel de cooperación, etc.

Indicadores de capital humano

Otro aspecto muy importante para la innovación es el capital humano. Son los(as) investigadores(as) e ingenieros(as) —con su talento, experiencia y calidad— los que lideran el proceso de innovación y determinan en gran parte su nivel de éxito y eficiencia. La medición del capital humano no es fácil y los datos son más bien aproximaciones aunque, por otro lado, los indicadores disponibles son generalmente aceptados y se pueden considerar bastante acertados. Como afirma la OCDE en el Manual de Frascati (2015), el personal en I+D no resulta suficiente para medir el rendimiento tecnológico de un país, pues solo representa una parte del *input* humano de un sistema de innovación. El personal científico y técnico contribuye igualmente al avance tecnológico a través de su participación en la producción, el control de calidad, la dirección o la educación.

Por su parte, el personal en I+D, engloba a todas las personas dedicadas directamente a esta actividad así como a aquellos cuyo rendimiento contribuye de forma inmediata a la misma (directivos, personal administrativo, etc.). Se disponen de dos unidades de medida para el personal en I+D: el número de personas empleadas trabajadores(as) e investigadores(as). Estos indicadores —aunque

altamente correlacionados— son complementarios y miden conceptualmente aspectos diferentes.

Además de usar estas variables en términos absolutos (número de personas), también se entregan variables relativas respecto al total de trabajadores de la economía (como porcentaje de la fuerza laboral). Además, en el modelo factorial otra variable que se incorpora adecuadamente en esta dimensión es la tasa de educación superior (porcentaje de la población entre 25 y 64 años con educación universitaria).

Variables output de los procesos de innovación

Las variables utilizadas como *output* fueron las patentes solicitadas ante la Oficina de Patentes Europea (EPO por sus siglas en inglés), las patentes solicitadas ante la Oficina de Patentes de los Estados Unidos (USPTO por sus siglas en inglés) y las publicaciones científicas publicadas.

La propiedad intelectual básicamente empresarial (patentes)

La utilización de las patentes como medida del *output* tiene su justificación en una extensa literatura sobre el tema en la que se destacan sus ventajas e inconvenientes (tabla 4), estableciéndose un balance a favor de las primeras. Así las patentes son por el momento la mejor medida de la capacidad innovadora nacional de la que disponemos.

En definitiva, las patentes, lejos de ser una medida perfecta del *output* tecnológico son, por el momento, la mejor y más completa medida de la que se dispone. Los inconvenientes que presentan, únicamente conllevan una serie de restricciones que deberán ser tenidas en cuenta a la hora de interpretar los resultados del modelo (Baumert, 2006).

Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de las patentes como indicador de la innovación

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Garantizan un nivel mínimo de originalidad. • Presentan una elevada probabilidad de convertirse en producto innovador dado el alto coste que entraña el proceso de patentar. • Disponibilidad de datos (series temporales largas). • Detalle por agentes, campos tecnológicos y a distintos niveles de desagregación territorial. • Reflejo de la obtención de tecnologías nuevas y de las innovaciones incrementales. • Comparabilidad internacional. • Cubren prácticamente todos los campos tecnológicos. • Mantienen un estrecho vínculo con las invenciones. • Se producen en las fases iniciales del proceso de innovación, presentando una relación más contemporánea con el esfuerzo en I+D. • En comparación con las innovaciones, resultan “objetivas”, al tener que pasar por un proceso de evaluación neutral. 	<ul style="list-style-type: none"> • No todas las innovaciones son patentadas. Reflejan el éxito tecnológico pero no necesariamente un éxito o impacto económico. • No se recogen las diferencias en la calidad individual de cada patente. • Distinta propensión a patentar entre países, regiones, sectores y empresas. • Su significatividad es menor en los ámbitos territoriales en los que el número de patentes es bajo y las variaciones relativas resultan más bruscas.

Fuente: Baumert (2006, p. 94).

La variable de patentes ha sido incorporada al estudio de dos maneras: por un lado, las solicitudes de patentes a nivel europeo vía EPO y a nivel norteamericano vía USPTO, en términos

absolutos y corregidas por millón de habitantes, con el fin de expresarlas en términos per cápita. Se ha tenido en cuenta la localización del domicilio del inventor (o grupo de investigación que obtiene

el conocimiento patentado) y no el domicilio del propietario de los derechos protegidos por esas patentes. Esto hace que el uso de esta estadística sea el más adecuado para la investigación que aquí se presenta.

Resultados de índole más bien científica (publicaciones)

Por otro lado, para subsanar el problema respecto al desconocimiento de que una parte relevante del *output* lo componen las actividades de investigación científica, en este estudio se han incorporado las estadísticas de publicaciones en revistas académicas. La literatura también reconoce ciertos problemas asociados al uso de publicaciones como variable del *output*. Por un lado, está el sesgo del lenguaje, en el sentido de que gran parte de las publicaciones en las revistas científicas más prestigiosas se publican en el idioma inglés, generándose un sesgo hacia investigadores cuya lengua nativa sea ésta. Otra crítica es que muchas publicaciones son escritas por múltiples autores, muchas veces desde países diferentes, siendo casi imposible distinguir la contribución individual a la publicación. A pesar de lo anterior se ha utilizado la variable publicaciones técnicas y científicas tanto en términos absolutos como per cápita.

■ Representación de los sistemas de CTCI: Aplicación del análisis factorial y de aglomerados (clústeres)

Como ya se ha anunciado, los sistemas de CTCI son realidades complejas en las que participan múltiples agentes y cuya configuración institucional puede ser muy variada. Esto hace que, para su representación, sea imprescindible recurrir al empleo de múltiples variables. Así, partiendo de una base de datos con un amplio número de variables (84), en un segundo paso se seleccionaron 34, que se utilizaron en el análisis factorial con el objetivo de crear los indicadores compuestos o variables abstractas no observables.

Estos 34 indicadores, a su vez, pueden ser sintetizados, por medio del análisis factorial de componentes principales, en un número menor de variables sintéticas —a las que se denominan factores— de carácter abstracto, aunque

identificables con respecto a los elementos que conforman el sistema de CTCI, que tienen la capacidad de resumir la mayor parte de la información contenida en las variables originales. El empleo de la técnica estadística del análisis factorial resulta muy apropiado para hacer operativa la información de los indicadores del sistema de CTCI, dadas las características de este como realidad multidimensional, al representarlo en un limitado número de elementos abstractos. Desde una perspectiva estadística, esta técnica cuenta, para el tipo de investigación que aquí se realiza, con las siguientes ventajas:

- Los requisitos de normalidad, homoscedasticidad y linealidad no se exigen o se aplican de forma menos restrictiva.
- La multicolinealidad resulta un requerimiento para poder realizar el análisis, ya que el objetivo es identificar un conjunto de variables relacionadas que reflejan distintos rasgos de un solo aspecto.
- Los factores evitan en cierto modo el problema que ocasionan, cuando existen las fluctuaciones temporales de las variables individuales, ya que cada factor se basa en una media ponderada de diversas variables.
- El trabajo con factores ofrece modelos más robustos porque permite incluir de forma simultánea variables alternativas altamente correlacionadas.
- Todas las variables sintéticas generadas, al no estar correlacionadas entre ellas, pueden ser utilizadas sin problemas como *inputs* en el análisis de eficiencia del *data envelopment analysis* (DEA), obteniéndose un modelo final cualitativa y cuantitativamente completo.

En cuanto a su viabilidad, se puede decir que, en el análisis factorial, las variables no se asignan *a priori* a un factor, sino que es el propio procesamiento estadístico el que las agrupa. En este sentido, un análisis factorial solo es útil si los resultados son interpretables, de manera inequívoca, a partir del marco conceptual que proporciona la teoría. Esta interpretación es posible si de forma simultánea se cumple que:

- Las variables incluidas en un factor pertenecen al mismo componente o subsistema del sistema de CTCI.
- Las variables pertenecientes a un cierto subsistema se agrupan en un solo factor.
- Se puede asignar a cada factor o variable hipotética no observable un nombre que, sin ninguna ambigüedad, exprese claramente un concepto ajustado a la teoría.
- Los test estadísticos y las medidas de adecuación validen el modelo factorial obtenido (sección 4. Resultados).

Las variables, cuyos conceptos se han descrito, se han introducido en el análisis factorial que sirvió para configurar el sistema de CTCI de cada una de los países seleccionados, así como para obtener los *inputs* para el posterior análisis del proceso de optimización durante el periodo de estudio.

Finalmente, los factores se usaron para agrupar a los países en cuatro aglomerados o clústeres. Para esto, se emplea el método jerárquico aglomerativo ‘vecino más lejano’, el cual se basa en unir objetos en función de la llamada distancia máxima. La distancia máxima entre individuos de cada clúster se define como a esfera más reducida (diámetro mínimo) que puede incluir todos los objetos en ambos clústeres. De esta forma, dos objetos separados por la distancia máxima más corta se ponen en el primer clúster. Posteriormente se busca nuevamente la distancia máxima más pequeña, uniéndose al clúster existente un nuevo caso o bien formándose un nuevo clúster. Este procedimiento se repite hasta alcanzar un único conglomerado final.

■ Resultados

▮ Análisis exploratorio

En las tablas que vienen, se muestran los primeros 10 (*top ten*) países de la OCDE que más han crecido en cada uno de los cinco indicadores elegidos. En las figuras 2-9 se han seleccionado los primeros cinco que son similares a Chile. La definición de “similar a Chile” usada aquí es que su distancia euclidiana desde Chile sea menor que la mediana de 442.

Los 10 países de la OCDE que más han crecido en financiamiento privado de I+D son los que se encuentran en la tabla 4.

La evolución en el tiempo de los 5 similares a Chile según el criterio definido se muestran en la figura 2. Se incluye a Chile en todos los gráficos para efectos de comparación.

Se observa una situación claramente inferior de Chile en el financiamiento privado de la I+D con respecto a los otros países de la OCDE, tanto en su nivel inferior, como su crecimiento casi nulo. Colombia ha tenido un crecimiento importante (165 % en tercer lugar) pero desde un nivel muy inferior a los países restantes (tabla 5, figura 3).

Si bien, Colombia es el que más ha crecido en términos porcentuales, su nivel de publicaciones es bajo. Por el contrario, se destacan Portugal y Lituania (tabla 6, figura 4).

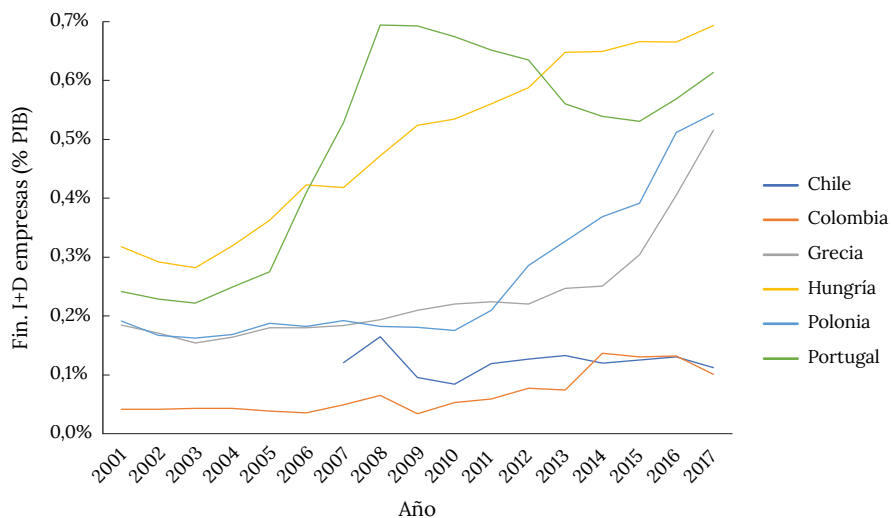
Se observa la clara diferencia de Chile con respecto a los otros países de la OCDE (tabla 7, figura 5).

Se observa una tendencia similar a las figuras mencionadas.

En este indicador destaca Irlanda por sobre el resto.

Finalmente, se generó un *ranking* consolidado, teniendo en cuenta el promedio de cada uno, por indicador. Los primeros ocho países de acuerdo con este criterio se presentan en la tabla 9.

Figura 2. Evolución del financiamiento privado de I+D en países de mayor crecimiento, similares a Chile



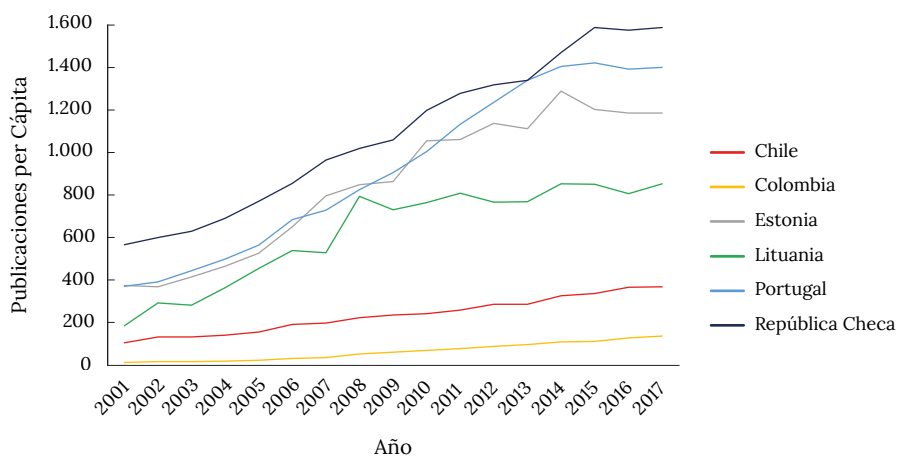
Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Países de la OCDE con un crecimiento mayor en publicaciones per cápita

Ranking	País	Distancia	Lustro 1 siglo 21 (2001-2005)	Lustro presente (2017-2021)	Crecimiento
1	Colombia	222	18	140	683 %
2	Luxemburgo	551	241	1397	480 %
3	Letonia	479	151	780	416 %
4	Portugal	68	453	1394	208 %
5	Chile	271	133	374	182 %
6	Lituania	442	315	830	163 %
7	Estonia	427	429	1127	163 %
8	Eslovaquia	474	413	1020	147 %
9	República Checa	336	650	1525	135 %
10	Costa Rica	227	45	101	124 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Evolución de publicaciones per cápita de países de mayor crecimiento, similares a Chile



Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Países de la OCDE con mayor crecimiento en patentes solicitadas a la EPO

Rank	País	Distancia	Lustro 1 siglo 21 (2001-2005)	Lustro presente (2017-2021)	Crecimiento
1	Turquía	293	1.14	6.66	482 %
2	Polonia	258	2.35	12.09	415 %
3	Estonia	427	6.35	22.99	262 %
4	Portugal	68	5.49	15.66	185 %
5	Lituania	442	2.52	6.35	152 %
6	República Checa	336	9.10	20.80	129 %
7	Eslovaquia	474	4.23	9.17	117 %
8	Corea	6007	56.28	102.63	82 %
9	Chile	271	0.95	1.44	50 %
10	Eslovenia	226	38.64	55.59	44 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Evolución de patentes EPO de países con mayor crecimiento, similares a Chile Fuente: elaboración propia.

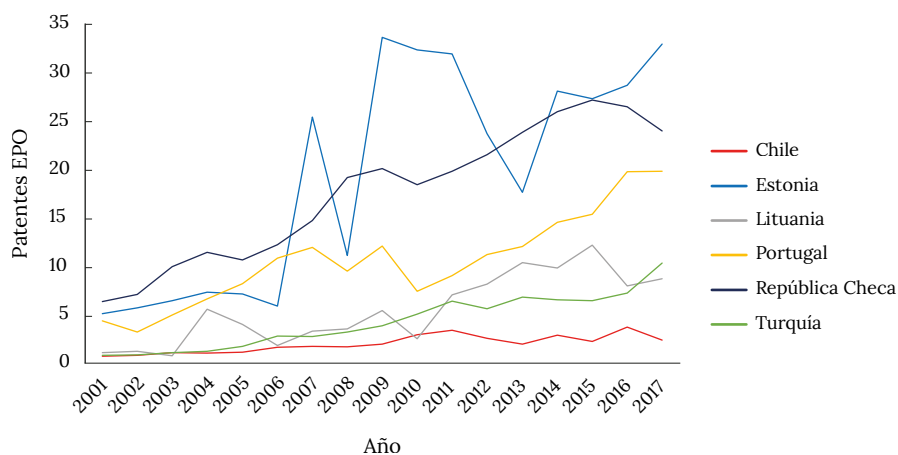


Tabla 7. Países OCDE con mayor crecimiento en patentes solicitadas a la USPTO

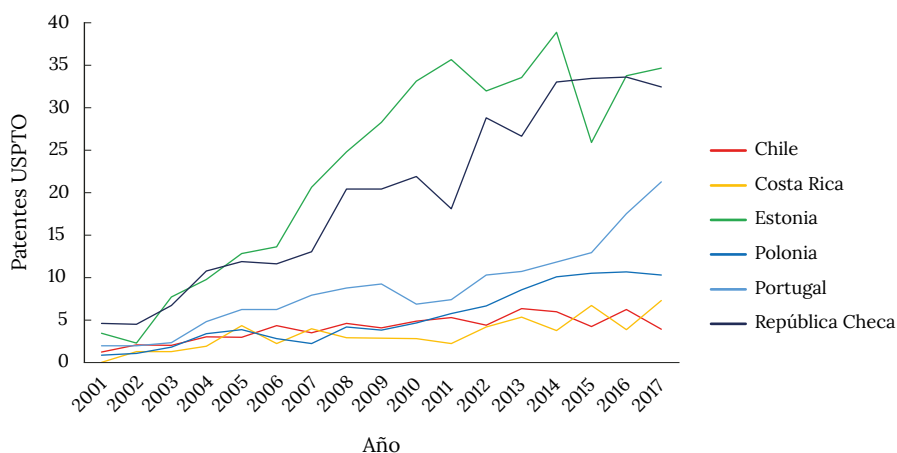
Rank	País	Distancia	Lustro 1 siglo 21 (2001-2005)	Lustro presente (2017-2021)	Crecimiento
1	Portugal	68	3.48	15.45	344 %
2	Polonia	258	2.20	9.37	326 %
3	Estonia	427	7.23	29.51	308 %
4	Costa Rica	227	1.77	7.16	305 %
5	República Checa	336	7.72	29.15	278 %
6	Turquía	293	0.62	2.19	254 %

(Continúa)

Rank	País	Distancia	Lustro 1 siglo 21 (2001-2005)	Lustro presente (2017-2021)	Crecimiento
7	Eslovaquia	474	2.85	8.71	206 %
8	Grecia	230	5.06	12.02	137 %
9	Colombia	222	0.43	0.87	102 %
10	Letonia	479	3.49	6.52	87 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Evolución de patentes USPTO de países con mayor crecimiento, similares a Chile



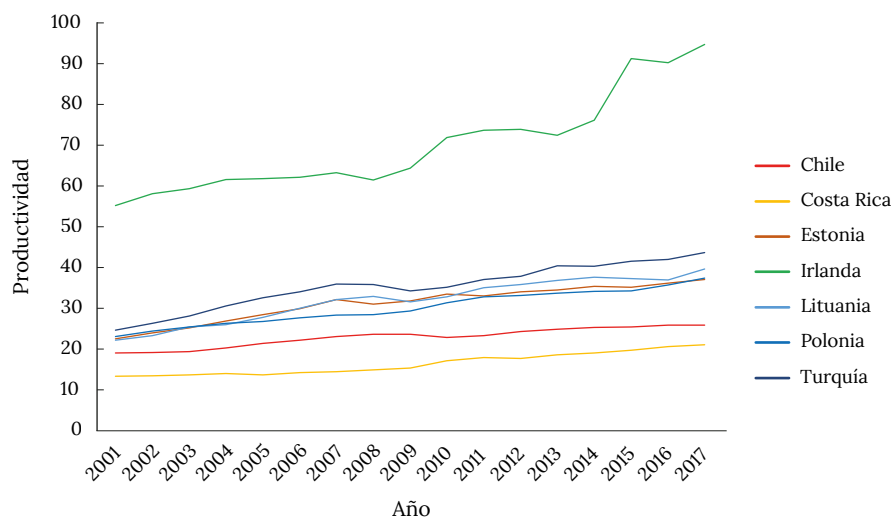
Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Países de la OCDE con mayor crecimiento en productividad (US\$ PPP por hora)

Rank	País	Distancia	Lustro 1 siglo 21 (2001-2005)	Lustro presente (2017-2021)	Crecimiento
1	Corea	6007	22.87	40.00	75 %
2	Irlanda	325	59.24	102.21	73 %
3	Letonia	479	22.21	37.11	67 %
4	Lituania	442	24.95	41.61	67 %
5	Costa Rica	227	13.61	22.34	64 %
6	Polonia	258	25.22	39.96	58 %
7	Estonia	427	25.41	39.90	57 %
8	Turquía	293	28.46	44.38	56 %
9	Eslovaquia	474	27.99	43.63	56 %
10	República Checa	336	30.05	41.61	38 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Evolución de productividad de países con mayor crecimiento, similares a Chile



Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Primeros ocho países en ranking consolidado

País	Distancia	Ranking fin I+D empresas % PIB	Ranking publicaciones per Cápita	Ranking patentes EPO	Ranking patentes USPTO	Ranking productividad	Ranking consolidado
Polonia	258	1	12	2	2	6	4.60
Estonia	427	7	7	3	3	7	5.40
Turquía	293	5	11	1	6	8	6.20
Lituania	442	8	6	5	14	4	7.40
Colombia	222	3	1	14	9	12	7.80
Portugal	68	4	4	4	1	26	7.80
Eslovaquia	474	12	8	7	7	9	8.60
República Checa	336	19	9	6	5	10	9.80

Fuente: elaboración propia.

■ Análisis econométrico y de aglomerados (clústeres)

Modelo factorial

El modelo factorial que se ha estimado proporciona una representación adecuada de los sistemas de CTCI para la muestra de países elegidos, al cumplirse todos los requisitos estadísticos y conceptuales que son exigibles para esto. Por lo tanto, se pueden emplear los factores resultantes

en ese modelo —expresivos de los recursos, organización e interrelaciones que describen a los sistemas de innovación— para abordar el análisis de la eficiencia con la que se desarrollan las actividades de creación y difusión del conocimiento tecnológico en los países.

El modelo factorial final consiste en los siguientes cinco factores (variables compuestas, con el porcentaje de la varianza total inicial explicada por cada factor resultante).

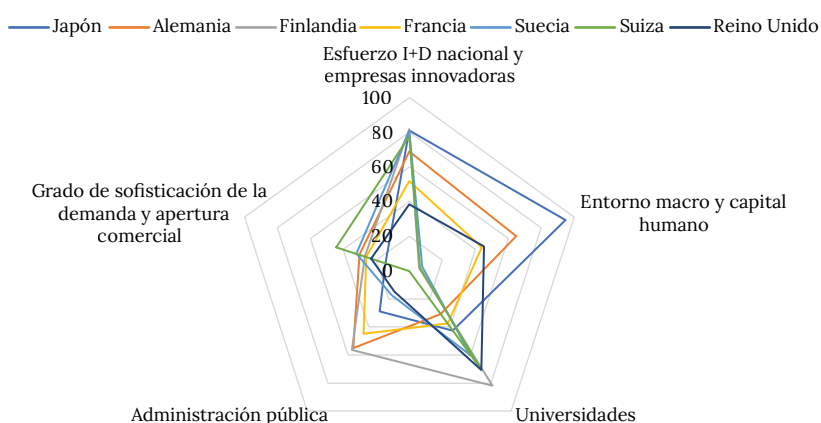
Esfuerzo nacional en I+D y empresas innovadoras (31.37 %)

- Entorno nacional y capital humano (30.96 %)
- Universidades (10.53 %)
- Administraciones públicas (9.25 %)
- Grado de sofisticación de la demanda y apertura comercial (6.85 %)

Tipología de los sistemas de CTCI

A partir de este índice es posible hacer una primera tipología de los sistemas de CTCI. Considerando el promedio del índice para el periodo de años de la muestra, se generó el análisis clúster que determinó la formación de cuatro clústeres (figura 7).

Figura 7. Caracterización de los sistemas de CTCI en países del clúster 1, de acuerdo al índice de capacidad tecnológica



Fuente: elaboración propia.

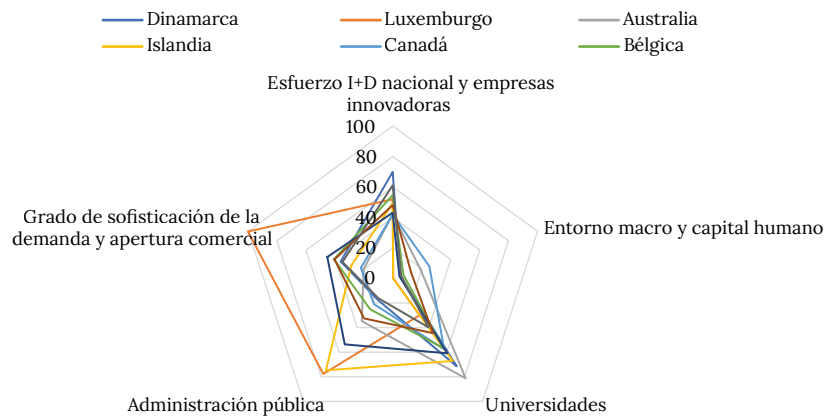
El clúster 1 incluye siete países principalmente desarrollados y con sistemas de CTCI maduros en los que se destaca el esfuerzo nacional en I+D y las empresas innovadoras (Japón, Alemania, Suecia, Finlandia, Francia, Suiza y Reino Unido). Respecto a otros clústeres, los sistemas de CTCI del número 1 tienen mejor puntaje en los factores Entorno macro y capital humano y Esfuerzo I+D nacional y empresas innovadoras (figura 7).

El clúster dos incorpora nueve países de alto desarrollo económico, pequeños y abiertos al comercio internacional (Dinamarca, Noruega, Australia, Luxemburgo, Bélgica, Holanda, Austria,

Canadá e Islandia). En estos se destacan en el subsistema de Universidades (figura 8).

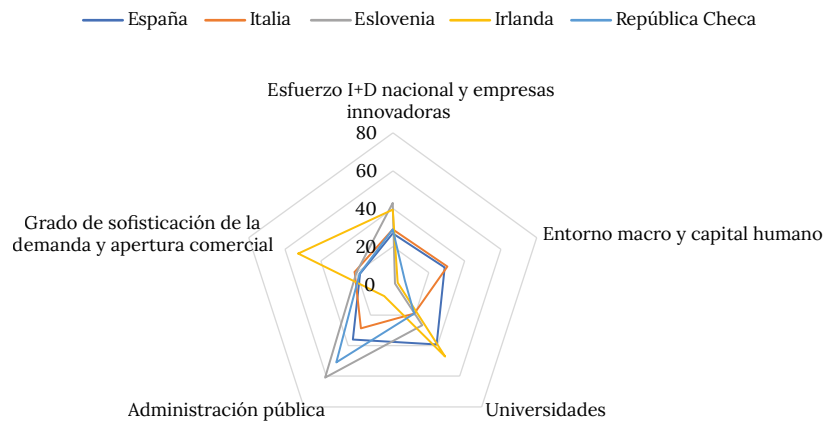
El clúster 3 agrupa a cinco países de desarrollo medio alto, mayoritariamente del sur y este de Europa. Destacan por el componente Administraciones pública, que como se verá más adelante, está fuertemente motivado por el apoyo de los fondos europeos. También es importante el factor Universidades, aunque con capacidades incipientes en Esfuerzo I+D nacional y en el Grado de sofisticación de la demanda. Los países que conforman este tercer clúster son: España, Italia, República Checa, Irlanda y Eslovenia (figura 9).

Figura 8. Caracterización de los sistemas de CTCI en países del clúster 2, de acuerdo al índice de capacidad tecnológica



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Caracterización de los sistemas de CTCI en países del clúster 3, de acuerdo al índice de capacidad tecnológica

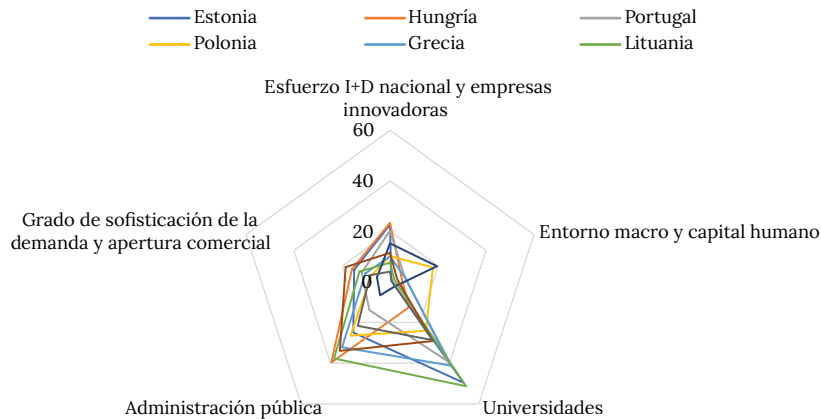


Fuente: elaboración propia.

Finalmente, el clúster cuatro agrupa a siete países, muchos pequeños, pero de rápido crecimiento económico en las últimas décadas. En este grupo se destaca un patrón menos claro entre sus miembros, pero, a pesar de esto, se observa una tendencia hacia una AP más fortalecida, así como un relativo mejoramiento en el factor Universidades, aunque en menor medida que los clústeres 2 y 3. Sus sistemas de CTCI son poco desarrollados, sin embargo, de acuerdo a algunos indicadores están experimentando

sendas de rápida convergencia tecnológica con los sistemas de CTCI más maduros. Esto también se refleja en la eficiencia de los sistemas de innovación, toda vez que la desviación estándar entre los puntajes de eficiencia cae de 0.375 en el año 2001 a 0.342 en el 2015, y el rango cae de 99.1 en 2001 a 93.6 en 2015, lo cual evidencia menores niveles de dispersión. Los países del cuarto clúster son: Portugal, Lituania, Letonia, Turquía, Grecia, Polonia, Hungría, Eslovaquia y Estonia (figura 10).

Figura 10. Caracterización de sistemas de CTCI en países del clúster 4, de acuerdo a índice de capacidad tecnológica



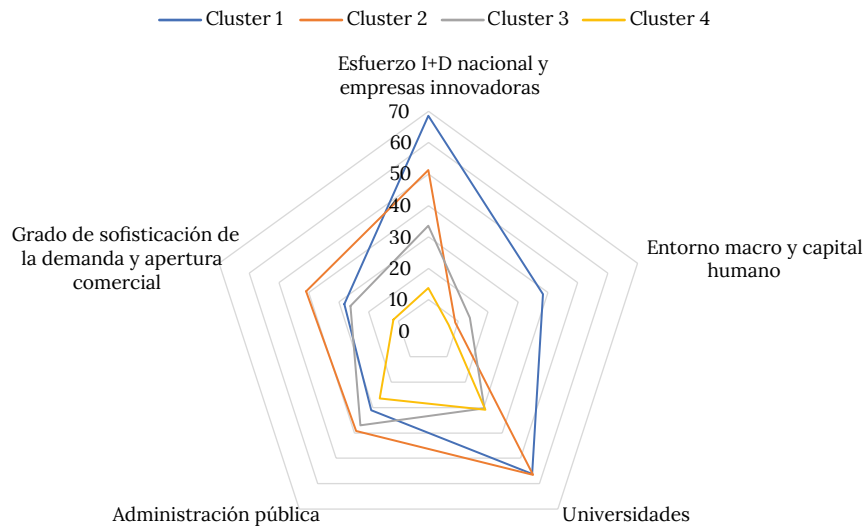
Fuente: elaboración propia.

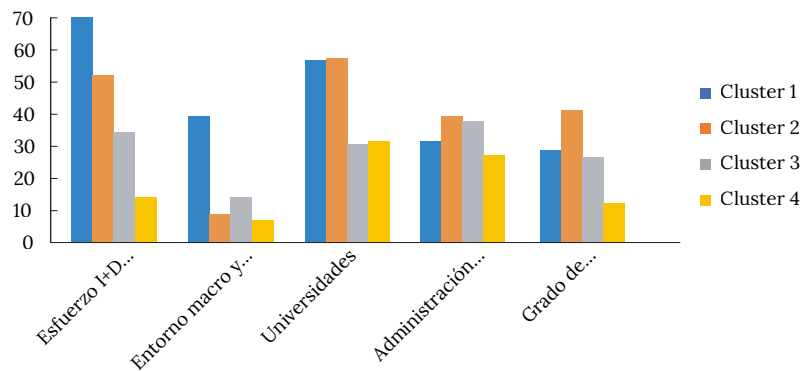
Se realizó el test de Kruskal-Wallis para corroborar la conformación de los cuatro clústeres, rechazando la hipótesis nula de igualdad de medias entre los grupos al 95 % de confianza para todos los subcomponentes del índice, salvo para el de AP, en el que no se rechaza la hipótesis nula.

A modo de ilustración final, se presentan dos figuras resumen con la caracterización de

los sistemas de CTCI, de acuerdo al índice de capacidad tecnológica previamente calculado. Para su elaboración se han considerado los países de los cuatro clústeres, con el fin de distinguir sus diferencias en cuanto a la configuración de sus sistemas de CTCI (figura 11).

Figura 11. Caracterización de sistemas de CTCI en los países de los cuatro clústeres a índice de capacidad tecnológica.





Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede señalar que los países con menor índice de capacidad tecnológica (ICT) son relativamente más fuertes en el factor Administración pública y en el factor de Universidades. Los que pertenecen al clúster 3 mantienen una fortaleza similar en esas dimensiones, pero avanzan en el factor Grado de sofisticación de la demanda y en Esfuerzo I+D nacional. Luego el clúster 2 muestra un fortalecimiento de todas las dimensiones, excepto en la que tiene que ver con el Entorno macro y el capital humano. Finalmente, el clúster 1 se diferencia del resto por el mejor puntaje obtenido en los factores Esfuerzo I+D nacional y Empresas innovadoras, así como en el factor Entorno macro.

De acuerdo con los análisis realizados, Chile es comparable en términos de trayectoria a los países del clúster 4, cuya configuración de sus sistemas

de CTCI da mayor preponderancia a los subsistemas Universidades y Administración pública.

▮ Análisis específico para Chile

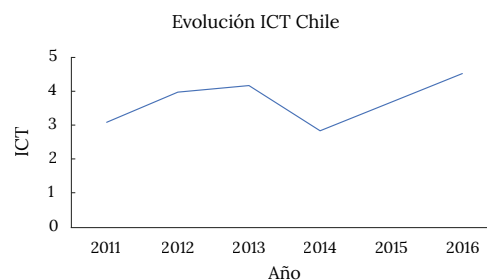
Una vez realizados los análisis para la muestra de países, se procedió a incluir a Chile en estos con el fin de visualizar su ubicación dentro del grupo, configurando su sistema de CTCI, comparando su capacidad tecnológica y analizando la eficiencia de su proceso innovador.

Para tal efecto, se realizó un nuevo análisis factorial incluyéndolo, pero reduciendo el periodo desde 2011 a 2016, por la disponibilidad de datos. Este, arrojó los mismos factores obtenidos previamente, además, se calculó el índice de capacidad tecnológica para cada uno de los años de la muestra. En la tabla 10 y la figura 12 se presentan los resultados del promedio para el periodo.

Tabla 10. Índice de capacidad tecnológica (ICT), promedio 2011 y 2016, incorporando a Chile y presentando su evolución

Clúster	Países	ICT
1	Japón	70.72
1	Alemania	63.58
1	Francia	46.18
1	Finlandia	45.45
1	Dinamarca	41.97
1	Suiza	41.72
1	Reino Unido	41.30
1	Suecia	41.07
2	Australia	37.10
2	Bélgica	36.74
2	Luxemburgo	36.74
2	Austria	36.09
2	Holanda	34.86
2	Noruega	34.56
2	Canadá	32.77
3	Eslovenia	32.29
3	Italia	31.14
3	Islandia	30.54
3	España	30.42
3	Irlanda	27.27
3	República Checa	26.32
4	Estonia	21.47
4	Hungría	20.48
4	Portugal	19.81
4	Polonia	19.37
4	Turquía	18.73
4	Grecia	18.68
4	Eslovaquia	16.52
4	Lituania	14.82
4	Letonia	8.76
4	Chile	3.70

Figura 12. Índice de capacidad tecnológica (ICT), promedio 2011 y 2016, incorporando a Chile y presentando su evolución



Fuente: elaboración propia.

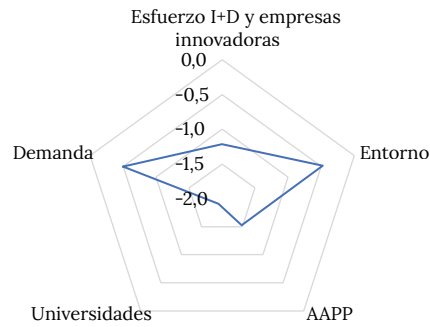
Como se observa en la tabla 10, Chile es parte del clúster 4 y se ubica en el último lugar, toda vez que muchos de los indicadores que están presentes en el índice presentan los mínimos valores, como es el caso de nuestro país.

Otra forma de visualizar lo anterior es configurar, a partir de las puntuaciones factoriales del nuevo modelo factorial, el sistema de CTCI de Chile para esos seis años.

De acuerdo con la figura 12, el sistema de CTCI chileno descansa fundamentalmente en el factor Grado de sofisticación de la demanda y apertura comercial, lo que refleja una de las principales características de la economía chilena en ese periodo que se distinguió por el importante crecimiento del PIB per cápita (en relación con el resto de los países de la muestra) y el alto grado de apertura comercial, en particular el rol de las exportaciones en el PIB. También en el factor Entorno nacional y capital humano, explicado en parte por el fuerte crecimiento de la tasa de matriculación en educación superior que se experimentó en el país durante el periodo de estudio. Sin embargo, los otros subsistemas están muy poco desarrollados, en particular el del sector Empresarial y el de Universidades, lo que da margen importante para mejoras en ambos subsectores del sistema de CTCI.

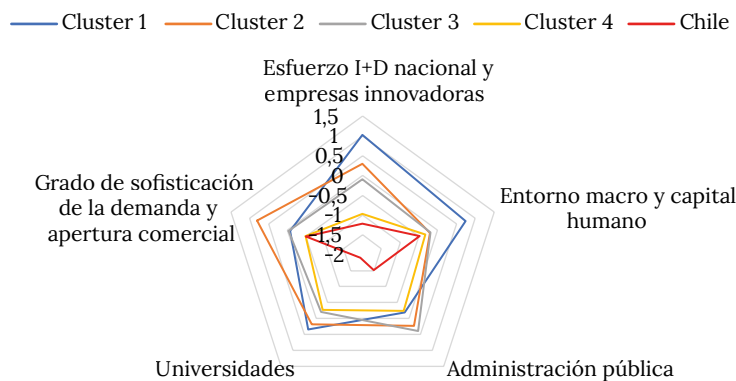
La figura 13 presenta valores negativos toda vez que está basado en las puntuaciones factoriales obtenidas por Chile. Es importante recordar que las puntuaciones factoriales, incluyendo todos los casos (países), tienen media 0 y varianza 1.

Figura 13. Configuración del sistema de CTCI chileno



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Configuración del sistema de CTCI por clúster, incluyendo a Chile



Fuente: elaboración propia.

En comparación a los clústeres, es interesante notar que, pese a que Chile tiene en promedio puntajes del ICT que lo agrupan en el clúster 4, su sistema de CTCI tiene similitudes con el promedio de países que conforman el clúster 3, en particular con el factor Entorno macro y capital humano. En este clúster encontramos países como España y la República Checa, ambos incluidos en la lista de países cuyas trayectorias se asemejan a Chile.

De acuerdo con los cálculos de eficiencia al aplicar el DEA, usando los factores previamente calculados como *inputs*, y patentes y

publicaciones como resultados del proceso innovador en términos tecnológicos y científicos respectivamente, Chile, pese a tener el más bajo nivel de capacidad tecnológica, posee un sistema de CTCI eficiente en relación con otros CTCI similares (clúster 4); tanto en términos científicos (publicaciones científicas), en el que alcanza el 100 % de eficiencia en el 2011, como en términos tecnológicos (patentes per cápita). Las tablas 11 y 12 muestran los índices de eficiencia en 2011 y 2016 para los 38 países de la OCDE, incluyendo a Chile, el cual se muestra destacado.

Tabla 11. Índices de eficiencia en 2011, incorporando a Chile

Científico				Tecnológico			
Países	Retornos constantes a escala	Retornos variables a escala	Eficiencia de escala	Países	Retornos constantes a escala	Retornos variables a escala	Eficiencia de escala
Dinamarca	100.0	100.0	100.0	Finlandia	100	100	100
Finlandia	100.0	100.0	100.0	Japón	100	100	100
Grecia	100.0	100.0	100.0	Suecia	100	100	100
Islandia	100.0	100.0	100.0	Suiza	100	100	100
Irlanda	100.0	100.0	100.0	Alemania	98.5	100	98.5
Holanda	100.0	100.0	100.0	Canadá	88.7	100	88.7
Noruega	100.0	100.0	100.0	Dinamarca	80.5	100	80.5
Eslovenia	100.0	100.0	100.0	Reino Unido	79	100	79
Suiza	100.0	100.0	100.0	Luxemburgo	76.5	100	76.5
Reino Unido	100.0	100.0	100.0	Austria	72.7	96.3	75.4
Australia	100.0	100.0	100.0	Irlanda	65.7	100	65.7
Chile	100.0	100.0	100.0	Holanda	65.2	80.8	80.7
Suecia	97.3	100.0	97.3	Noruega	59.1	87.9	67.3
Canadá	95.5	96.4	99.1	Islandia	56.2	100	56.2
República Checa	94.8	100.0	94.8	Francia	46.6	76.1	61.2
Polonia	89.2	100.0	89.2	Italia	44.9	78.5	57.2
Lituania	82.7	100.0	82.7	Bélgica	43.4	85.1	51
Italia	82.3	88.2	93.3	Australia	43.1	78.8	54.7
España	82.3	86.4	95.3	Eslovenia	36.6	100	36.6
Letonia	79.7	100.0	79.7	Hungría	26	97.2	26.7
Portugal	78.2	100.0	78.2	España	19.6	75.1	26.1
Hungría	74.8	96.2	77.8	Chile	18	100	18
Estonia	73.5	100.0	73.5	Polonia	16.1	100	16.1
Luxemburgo	70.3	94.4	74.5	Estonia	15.9	100	15.9
Eslovaquia	68.9	91.9	75.0	Eslovaquia	11.5	91.3	12.5
Austria	68.8	93.4	73.7	Letonia	11.3	100	11.3
Bélgica	67.5	84.5	79.9	Grecia	10.9	100	10.9
Alemania	64.8	70.3	92.2	República Checa	9.5	86.2	11
Francia	59.3	67.5	87.7	Lituania	9.1	97.7	9.3
Japón	47.4	76.6	61.8	Turquía	5	74.5	6.7
Turquía	46.2	77.5	59.6	Portugal	4.8	94.2	5.1
PROMEDIO	84.6	94.3	89.2	PROMEDIO	48.9	93.5	51.6

Fuente: elaboración propia.

Pese a este buen desempeño, el sistema de CTCI chileno ha experimentado una baja en sus índices de eficiencia en 2016 como lo muestra la tabla 12. En el caso del modelo científico una caída de 27.5 puntos porcentuales y de 7.4 puntos

en el caso del modelo tecnológico. Este aspecto es importante de revisar toda vez que, si bien su índice de capacidad tecnológica aumenta, esta mejora no va acompañada de una mayor eficiencia en su esfuerzo en I+D.

Tabla 12. Índices de eficiencia 2016, incorporando a Chile

Científico				Tecnológico			
Países	Retornos constantes a escala	Retornos variables a escala	Eficiencia de escala	Países	Retornos constantes a escala	Retornos variables a escala	Eficiencia de escala
República Checa	100	100	100	Finlandia	100	100	100
Dinamarca	100	100	100	Hungría	100	100	100
Finlandia	100	100	100	Japón	100	100	100
Grecia	100	100	100	Suecia	100	100	100
Hungría	100	100	100	Suiza	100	100	100
Islandia	100	100	100	Austria	94.6	99.7	94.9
Letonia	100	100	100	Irlanda	91.7	100	91.7
Noruega	100	100	100	Canadá	91	100	91
Eslovenia	100	100	100	Luxemburgo	89.2	100	89.2
Suecia	100	100	100	Holanda	88.7	92.9	95.4
Suiza	100	100	100	Alemania	86.4	100	86.4
Reino Unido	100	100	100	Dinamarca	75.9	100	75.9
Australia	100	100	100	Reino Unido	75.8	100	75.8
Irlanda	98.6	100	98.6	Islandia	68.9	100	68.9
Luxemburgo	97.2	100	97.2	Eslovenia	64	100	64
Canadá	96.9	99.7	97.2	Francia	50.8	80.7	63
Holanda	96.5	97.4	99.1	Noruega	48.8	83.7	58.3
Eslovaquia	96.2	100	96.2	Bélgica	42.5	84	50.5
Portugal	86.9	100	86.9	Italia	40.3	77.3	52.2
España	86.7	90	96.3	Australia	39.2	77.3	50.7
Italia	82.1	86.9	94.4	España	24.8	75.7	32.8
Estonia	77.6	100	77.6	Estonia	16.8	100	16.8
Polonia	75.3	100	75.3	Letonia	14.4	100	14.4
Chile	72.5	100	72.5	República Checa	13.9	87	15.9
Austria	68.6	94.5	72.6	Portugal	12.3	91.3	13.5
Lituania	68.3	96.9	70.5	Chile	10.6	100	10.6
Bélgica	65.1	83.8	77.7	Grecia	8.5	100	8.5
Alemania	61.2	68.3	89.6	Eslovaquia	8.3	96.2	8.7
Francia	55.3	67.5	82	Polonia	8.1	100	8.1
Turquía	50.7	96.7	52.5	Lituania	7.9	96.9	8.2
Japón	40.8	74.9	54.5	Turquía	6.1	96.7	6.3
PROMEDIO	86.3	95.4	90.0	PROMEDIO	54.2	94.8	56.5

Fuente: elaboración propia.

■ Sección 5. Conclusiones

Chile demuestra un sistema nacional de innovación con un desarrollo significativamente menor que los demás países de la OCDE.

Este retraso es multidimensional (consistente con la perspectiva del marco teórico) y se manifiesta en diversas variables, incluyendo: financiamiento privado del I+D, publicaciones per cápita, patentes y productividad, y también en los cinco factores analizados: esfuerzo en I+D de las empresas; entorno macroeconómico y capital humano; administración pública; universidades; y sofisticación de la demanda y apertura comercial. En síntesis, este menor desarrollo es sistémico: de muchos actores y subsistemas del entorno nacional.

Por consiguiente, Chile debería diseñar políticas públicas con una visión integral de todo el sistema de innovación, y promover la colaboración y coordinación entre distintos actores. Estos últimos son factores muy importantes para que se dé una I+D que se traduzca en mayor productividad y bienestar social. Asimismo, inspirándose en las trayectorias de largo proceso de los otros países de la OCDE, las políticas públicas en el sistema de CTCI, en particular la inversión en educación e I+D, deberían ser políticas de largo plazo y con consenso social entre distintos actores: empresas, gobierno y partidos políticos.

El desafío de la política pública en el sistema de CTCI en países como Chile es consolidar políticas que reduzcan la brecha entre la I+D y el sector productivo.

Finalmente, se debe considerar la evaluación de impactos, para saber en forma objetiva, ¿cuáles son las políticas públicas que funcionan y cuáles no?, para evitar elegir políticas cortoplacistas.

■ Referencias

- Abramowitz, M. (1956). Catching up, forging ahead and falling behind. *Journal of Economic History*, 46(2), 385-406.
- Aghion, P., Howitt, P., & Prantl, S. (2013). Revisiting the relationship between competition, patenting, and innovation. En D. Acemoglu, M. Arellano, & E. Dekel, (Eds.), *Advances in Economics and Econometrics*. Tenth World Congress Volume 1, Econometric Society Monographs (No. 49) Economic Theory Publisher. 1ra Edition. Cambridge University Press.
- Baumert, T. (2006). *Los determinantes de la innovación. Un estudio aplicado sobre las regiones de la Unión Europea* [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid, España].
- Bloom, P. N., & Dees, G. (2008). Cultivate your ecosystem. *Stanford Soc. Innov. Rev. Winter*, 47-53.
- Buesa, M., Heijs, J., Martínez Pellitero, M., & Baumert, T. (2006). Regional systems of innovation and the knowledge production function: the Spanish case. *Technovation*, 26(4), 436-472. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.11.007>
- Buesa, M., & Heijs, J. (2016). *Manual de economía de innovación. Tomo I. Teoría del cambio tecnológico y sistemas nacionales de innovación*. Instituto de Análisis Industrial y Financiero, Universidad Complutense de Madrid.
- Carrillo, J., & Contreras, Ó. (2015). Los enfoques analíticos y políticas de innovación en el norte de México. En J. Carrillo, & Ó. Contreras. *Experiencias estatales y transfronterizas de innovación en México*.
- Cerulli, G., & Filippetti A. (2012). The complementary nature of technological capabilities: Measurement and robustness issues. *Technological Forecasting & Social Change*, 79, 875-887. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.12.002>
- Edquist, CH. (Ed.) (1997). *Systems of innovation: technologies, institutions and organizations*. Pinter Publishers.
- Edquist, CH. (2005). Systems of innovation: Perspectives and challenges. En J. Fagerberg, D. Mowery, & R. Nelson, (Eds.). *The New Handbook of innovation* (pp. 181-208). Oxford University Press.
- Escobar, J. F., Cárdenas, M. F., & Bedoya, I. (2017). De los sistemas a los ecosistemas de innovación. *Revista Espacios*, 28(34).
- Fagerberg, J. (1988). International competitiveness. *Economic Journal*, 98(391), 355-374.
- Freeman, C. (1987). *Technology and economic performance: Lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Freeman, CH. (1994). *Innovation and growth*. Chapters.
- Griliches, Z. (1986). Productivity, R&D and basic research at firm level, is there still a relationship. *American Economic Review*, 76(1), 82-99. <http://doi.org/10.3386/w1547>
- Grupp, H., & Schubert, T. (2010). Review and new evidence on composite innovation indicators for evaluating national performance. *Research Policy*, 39(1), 67-78.
- Gutiérrez, C. (2018). *Eficiencia de los sistemas regionales de innovación en Europa y análisis econométrico de sus determinantes* [Tesis para doctorado, Universidad Complutense de Madrid, España].
- Hollenstein, H. (1996). A composite indicator of a firm's innovativeness. An empirical analysis

- based on survey data for Swiss manufacturing. *Research Policy*, 25(4), 633-645. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(95\)00874-8](https://doi.org/10.1016/0048-7333(95)00874-8)
- Jucevičius, G., & Grumadaitė, K. (2014). Smart development of innovation ecosystem. *Procedia-Soc. Behav. Sci.*, 156, 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.11.133>
- Koschatzky, K. (1997). Innovative regional development concepts and technology based firms. En K. Koschatzky. (Ed.). *Technology based firms in the innovation process. Management, financing and regional networks*. Physica Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-52135-5_9
- Koschatzky, K. (2000). The regionalization of innovation policy in Germany – theoretical Foundations and recent experience. *Arbeitspapiere Unternehmen und Región*, 1.
- Londoño, J. (2012). La gestión de la innovación como la gestión de un ecosistema heterogéneo y estructurado. *Cuad. Gest*, 12, 125-137.
- López-Zurita, S., Garcés-Toro, D., & Carvajal-Solís, J. (2024). Evolución de los sistemas de innovación: desde nacionales hasta tecnológicos. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(44), 40-51.
- Lundvall, B. (1992). *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*. (1ra edición). Pinter Publishers.
- Lundvall, B. (2023). Transformative innovation policy – lessons from the innovation system literature. *Innovation and Development*, 14(2), 297-314.
- Makkonen, T., & van Der Have, R. (2013). Benchmarking regional innovative performance: Composite measures and direct innovation counts. *Scientometrics*, 94 (1), 247-262.
- Marshall, A. (1919). *Industry and Trade*. McMillan.
- Nelson, R. R. (Ed.). (1993). *National innovation systems: A comparative analysis*. Oxford University Press.
- OECD (1994). *Accessing and expanding the science and technology base*. OECD Publications.
- OECD (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publications.
- OECD (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development, the measurement of scientific, technological and innovation activities*, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>
- Oh, D. S., Phillips, F., Park, S., & Lee, E. (2014). Innovation ecosystems: a critical examination. *Technovation* 54, 1-6.
- Papaioannou, T., Wiold, D., & Chataway, J. (2007). Knowledge ecologies and ecosystems? An empirically grounded reflection on recent developments in innovation systems theory. En The Open University's Repository of Research Publications. Conference Item. En: The 6th International Triple Helix Conference on University-Government-Industry Relations, 16-18 May 2007, Singapur. <https://doi.org/10.1068/c0832>
- Perrin, J. C. (1986). Les PME de haute technologie à Valbonne Sophia-Antipolis. Contribution à une analyse inter-territoriale de la relation entreprise/environnement, in RERU. Numéro especial, 5, 629-643. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=12094288>
- Perrin, J. C. (1988). A deconcentrated technology policy, lessons from the Sophia antipolis experience. *Environment and Planning C, Government and Policy*, 6(4), 414-426. <https://doi.org/10.1068/c060415>
- Perroux, F. (1971). Note sur la notion de pôle de croissance. *Economie Appliquée*, 8, 307-320 (I. Livingston Trad (Ed.)), Penguin, Harmondsworth. (Trabajo original publicado en 1955).
- Porter, M. (1990). *The comparative advantage of nations*. Free Press and McMillan.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business cycles: a theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process*. McGraw-Hill.
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Störh, W. (1987). Territorial Innovation Complexes. *Papers of the Regional Science Association*, 59, 29-44.
- Sun, J., & Kenney, M. (2024). Central-local government interactive learning and the rise of innovative industries: reconsidering the chinese national innovation system. Available at SSRN: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5001975>
- Vlasova, V., & Saprykina, A. (2023). Innovation-driven economic growth under global turbulence: how countries strengthen innovation systems to deal with threats. *Economics of Innovation and New Technology*, 33(8), 1096-1120. <https://doi.org/10.1080/10438599.2023.2276318>