

# Trayectorias de Desarrollo de Sistemas de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCI): lecciones para Chile

**Cristián Gutiérrez Rojas** ✉   
Universidad Católica Silva Henríquez

**Jerome Smith-Uldall** ✉   
Universidad Católica Silva Henríquez

## RESUMEN

Chile tiene actualmente un gasto en I+D respecto al 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 financiado 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 distintos 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.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es identificar y analizar trayectorias de desarrollo de Sistemas de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (CTCI) en distintos países que hayan aumentado sus niveles de inversión en I+D a partir de estrategias y políticas públicas en estas materias, para así generar aprendizajes y recomendaciones de política pública para el caso de Chile. De esta manera se buscó identificar y analizar trayectorias de desarrollo de los Sistemas de CTCI de un conjunto de países que sirvan de referencia para Chile y que hayan aumentado su inversión en I+D respecto al PIB, a partir de un análisis longitudinal de indicadores relacionados a la CTCI y metodologías econométricas.

El enfoque utilizado en el presente estudio está basado en la medición de los sistemas de I+D mediante el uso de indicadores compuestos. Para realizar lo anterior se realizó una revisión de la literatura que permitiera entregar los elementos necesarios para el desarrollo conceptual tomando como base la idea de sistemas de I+D (SID). Los sistemas de innovación se refieren al conjunto de agentes que desarrollan actividades de creación y difusión de (nuevo) conocimiento —así como de las interacciones entre ellos—

### Keywords:

Sistema Nacionales de Innovación, I+D, OCDE, Chile, Productividad.

dentro de ciertos límites geográficos e institucionales, buscando generar innovaciones.

Se propone dividir el SID, siguiendo a Buesa y Heijs (2016) y Gutiérrez (2018), en cuatro subsistemas:

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

Para la configuración y la eficiencia de los sistemas nacionales de I+D se aplicó la metodología del análisis factorial 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 SID. Además, estos factores o variables sintéticas reflejan mejor la realidad de cada componente del SID 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 utilizaron para los análisis posteriores como la elaboración de un índice de eficiencia a nivel nacional.

En paralelo se realizó una serie de análisis exploratorios gráficos y descriptivos con las variables individuales, lo que complementa los resultados previos con estudios de casos y visualización de tendencias.

El modelo factorial resultante además de satisfacer adecuadamente las exigencias estadísticas, es coherente con la teoría de los Sistemas de I+D, representando adecuadamente aspectos o subsistemas centrales del sistema nacional de CTCI. De esta manera pudieron distinguirse cinco factores claramente interpretables, y que equivalen al Entorno Económico Nacional y Capital Humano, a las Empresas (innovadoras) y el Esfuerzo Nacional en I+D —que recoge la actividad específica de creación de conocimiento tecnológico—, las instituciones de enseñanza

superior (Universidades) —que reflejan la generación específica de conocimiento científico—, la Administración Pública y el grado de Sofisticación de la Demanda (en sentido tecnológico) y la Apertura Comercial. Los resultados obtenidos a través del análisis factorial coincidieron por tanto básicamente con los determinantes apuntados por la teoría. Al cumplirse todos los requisitos estadísticos y conceptuales que son exigibles para ello, se pudieron emplear los factores resultantes en este modelo —expresivos de los recursos, organización e interrelaciones que describen a los sistemas de innovación— para abordar el análisis multivariante y de la eficiencia con la que se desarrollan las actividades de creación y difusión del conocimiento tecnológico en los sistemas nacionales CTCI.

Así se elaboró un índice de capacidad tecnológica y se realizó una tipología de los sistemas de CTCI. Al realizar esto se observa una gran heterogeneidad de sistemas, con distintos grados de desarrollo, relevancia o peso de un subsistema sobre otros y se vislumbró una tendencia a la convergencia tecnológica entre los países que conforman la muestra para el período de estudio: 2001 – 2017. La tipología da cuenta, además, de la orientación de las políticas públicas que los distintos países han impulsado a lo largo de los años y que les ha permitido configurar sus sistemas CTCI fortaleciendo y/o priorizando unos subsistemas por sobre otros.

Partiendo del marco neoclásico y schumpeteriano de la economía de la innovación, se midió la eficiencia por la cual los recursos económicos e institucionales son empleados para obtener tecnologías susceptibles de ser usadas en la producción de bienes y servicios, así como nuevo conocimiento científico. El análisis de eficiencia llevado a cabo por la técnica del Análisis Envolvente de Datos DEA, permitió establecer la frontera eficiente, identificando aquellos países que maximizan (minimizan en la orientación input) la relación input/output. En relación a esta frontera, el DEA sitúa a los otros países midiendo su eficiencia como distancia (en porcentaje) respecto a esta frontera. Los resultados obtenidos por este procedimiento permitió destacar, en primer lugar, que sólo unos pocos países están situados sobre la frontera de eficiencia o muy cercana a ella, con muchos países obteniendo sistemáticamente bajos puntajes de eficiencia. La dispersión de estos niveles de eficiencia es muy amplia entre países.

Los sistemas CTCI que están sobre la frontera o cercanos a ella corresponden a países cuyos PIB per cápita está sobre la media de la muestra de países seleccionados; al mismo tiempo en todos los países cuyos PIB per cápita se ubican bajo la media de la muestra, muestran niveles de eficiencia sistemáticamente menores al 20% respecto a la frontera.

La estimación de un índice de eficiencia de escala para los sistemas de CTCI reveló que gran parte de las ineficiencias estimadas en el modelo son causadas por un problema de dimensión. La eficiencia técnica es alta en muchos países, pero sus eficiencias de escala están muy alejadas de la frontera. Esto apunta al hecho de que la ineficiencia mantiene alguna relación con la necesidad de alcanzar una masa crítica de recursos económicos e institucionales de cada país para el desarrollo de sus actividades de innovación. Este último resultado debería ser considerado por aquellos responsables de diseñar e implementar políticas de innovación, teniendo como objetivo economizar recursos empleados con los mayores retornos posibles. En otras palabras, no cualquier objetivo ni cualquier actor es igualmente eficiente desarrollando actividades de I+D.

Es importante destacar que los alcances de este estudio apuntan al rol que tienen los gobiernos en los procesos de innovación a escala local y en la posición de sus países en la carrera tecnológica internacional. Las profundas asimetrías entre los sistemas de CTCI en cuanto a su eficiencia en la I+D es un llamado de atención a los hacedores de políticas científicas y tecnológicas y los tomadores de decisión para avanzar hacia procesos de integración real en cuanto a los esfuerzos y cooperación en materia científica y tecnológica. Como demuestran los resultados obtenidos, alcanzar cierta masa crítica parece una tarea imperiosa, pero a la vez compleja, dada la inexistencia de recetas tipo 'políticas igual para todos'. Las estrategias de las empresas, el rol de las administraciones públicas, las universidades y el entramado institucional que conforman los sistemas de I+D deben lograr generar flujos y círculos virtuosos de tal manera de aprovechar las externalidades desde los ámbitos nacionales a los sectoriales y/o regionales y así obtener y/o mantener el liderazgo en ciertos campos tecnológicos. En un momento histórico donde la democratización de la ciencia y la tecnología son fenómenos aparentemente

imparables, lograr mayores niveles de eficiencia es algo necesario y con carácter de urgencia.

En el caso del sistema de CTCI chileno, si bien presenta bajos indicadores de esfuerzo en I+D en relación a sus pares OECD, y que explican el último lugar de nuestro país en cuanto a su índice de capacidad tecnológica, los niveles de eficiencia del sistema CTCI de Chile es mucho mejor en relación a otros sistemas. Esto último se ve empañado toda vez que los índices de eficiencia innovadora para Chile han ido empeorando a lo largo del tiempo por lo que urge retomar una senda de mejor asignación de recursos, alcanzar cierta masa crítica y lograr mejores resultados innovadores.

Para terminar el análisis se realizó una estimación de dos funciones de producción de conocimiento, una tecnológica (output patentes) y otra económica (output PIB per cápita y productividad). Ambas estimaciones presentaron un buen ajuste global y significancia estadística de las variables independientes para explicar los outputs (sin incurrir en colinealidad), lo cual destaca la utilidad de usar factores como regresores. La relevancia de estos aspectos para los responsables de las políticas científicas y tecnológicas es la posibilidad de contar con una herramienta que permita reflejar la alta heterogeneidad de los sistemas nacionales de CTCI en cuanto a la asignación de recursos para las actividades innovadoras, la organización de tales actividades y los productos científicos y tecnológicos.

En todos los modelos el factor Esfuerzo Nacional en I+D y Empresas Innovadoras es el que mayor importancia tiene, resaltando la relevancia que tendría para un sistema de CTCI alcanzar ciertos umbrales en cuanto a la cantidad de recursos humanos y físicos eventualmente disponibles para ejecutar esfuerzos innovadores. En cuanto a los actores que realizan el esfuerzo, todos los modelos destacan al rol de las empresas (contenida en el factor de Esfuerzo Nacional en I+D y Empresas Innovadoras) en los procesos innovadores y las Universidades como subsistema fundamental en la configuración de la base de conocimiento del sistema CTCI así como eje articulador de la transferencia de ese conocimiento hacia el sector productivo. En el caso de la Administración Pública para la muestra total de países su rol directo como ejecutor de I+D no es relevante al no ser significativo su coeficiente en el modelo. Sin embargo, al consi-

derar como variables dependientes variables socioeconómicas como el PIB y la productividad (los cuales a su vez son parte del Factor Entorno Nacional en la regresión con outputs tecnológicos) sí se vuelve un actor relevante. En este sentido lo relevante entonces es entender el rol del sector público en el sistema de CTCI, y como diferenciar casos en donde el Estado juega un rol directo en el esfuerzo y ejecución de I+D, de casos donde su rol es de promotor de políticas científicas y tecnológicas, generador de condiciones estructurales económicas, en especial la formación de capital humano (sistema educativo) y/o coordinador del resto de actores que conforman el sistema.

Lo anterior se hace evidente al seleccionar submuestras de países y comparar sus resultados. De acuerdo con lo anterior, los sistemas de CTCI más avanzados dan una mayor relevancia al factor Esfuerzo Nacional en I+D y Empresas Innovadoras, dejando fuera al esfuerzo directo que realiza la Administración Pública en marcado contraste a los sistemas de CTCI en desarrollo. Lo anterior se condice con análisis previos que resaltan la relevancia del esfuerzo público directo en I+D en etapas tempranas del desarrollo de un sistema de CTCI para luego dar espacio al esfuerzo privado en I+D en etapas posteriores.

## REFERENCIAS

- Abramowitz, M. (1956). Catching up, forging ahead and falling behind. *Journal of Economic History*, 46(2), 385-406.
- 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, España.
- Griliches, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of R&D productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10, 92-116.
- Fagerberg, J. (1988). International competitiveness. *Economic Journal*, 98(391), 355-374.
- Freeman, C. (1987). *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Freeman, C. (1996). The greening of technology and models of innovation. *Technological forecasting and social change*, 53(1), 27-39.
- Gutierrez, C. (2018). Eficiencia de los sistemas regionales de innovación en Europa y análisis econométrico de sus determinantes [Tesis para optar al grado académico de Doctor. Universidad Complutense de Madrid, España].
- Nelson, R.R. (Ed.). (1993). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford University Press.
- 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.