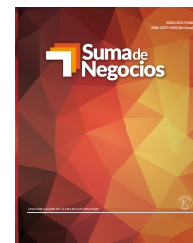




SUMA DE NEGOCIOS



Artículo de revisión

Innovación en tiempos de incertidumbre: visión y direccionalidad en sistemas de innovación

Oscar Burbano-Figueroa¹ 

¹ PhD en Ciencias Agrícolas - Desarrollo. Investigador en Universidad de Bonn, Centro de Investigación para el Desarrollo (ZEF), Genscherlee, Bonn, Alemania y Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias (Agrosavia), Centro de Investigación Turipán, Cereté, Córdoba, Colombia (autor de correspondencia). Correo electrónico: burbano.figueroa1@gmail.com; oburbano@agrosavia.co

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 14 de marzo de 2023

Aceptado el 27 de abril de 2023

Online el 26 de mayo de 2023

Códigos JEL:

Q18, O32, Q57, D63.

Palabras clave:

Análisis de futuros,
análisis normativo,
análisis exploratorio,
sostenibilidad,
innovación,
sistemas de innovación,
economía evolutiva.

RESUMEN

Introducción/objetivo: la sociedad requiere que los esfuerzos en CTI no sólo apunten al crecimiento económico, sino que promuevan la conservación del medio ambiente y la justicia social (la transformación hacia la sostenibilidad). En este sentido, se requiere la construcción de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad (SIS); es decir, que tengan la capacidad de direccionar la transformación de los sistemas sociotécnicos. Este artículo de perspectiva desarrolla una aproximación teórico-práctica para la implementación de sistemas de innovación que incluya las dimensiones de normatividad (direccionalidad) y exploración, que son necesarias para operar tales procesos de transformación.

Metodología: el análisis de sistemas y el análisis de decisiones fueron usados como estructura para organizar conceptos y métodos de diferentes corrientes de pensamiento, los cuales fueron sintetizados en este trabajo con el propósito funcional de desarrollar una herramienta en capacidad de proveer a los sistemas de innovación de las dimensiones de normatividad y exploración.

Resultados: cuando hablamos de desarrollo sostenible y usamos el concepto de sostenibilidad estamos necesariamente dando una direccionalidad a los sistemas de innovación. Operacionalizar esta función requiere conjugar un análisis normativo —orientado a construir una visión de un futuro sostenible para los actores participantes en el sistema de innovación—, y un análisis exploratorio enfocado en identificar las rutas de transformación con mayor potencial de alcanzar el futuro deseado. Este enfoque metodológico, construido a partir de varias aproximaciones empíricas, es aquí denominado *análisis integrado de futuros*.

Conclusión: este trabajo describe una perspectiva sintética y pragmática para la implementación de SIS. Esta perspectiva es una guía para equipos consultores en su tarea de apoyar a actores y tomadores de decisión en el proceso de formalización/fortalecimiento de estos sistemas, y en la identificación e implementación de los cursos de acción más apropiados para su implementación.

Innovation in uncertain times: Vision and directionality for innovation systems

ABSTRACT

Keywords:

Futures analysis,
normative analysis,
exploratory analysis,
sustainability, innovation,
innovation systems,
evolutionary economics.

Introduction: In contemporary society, there is a growing expectation for STI efforts to go beyond economic growth and actively contribute to environmental protection and social justice (transformation towards sustainability). To meet this demand, it is necessary to construct innovation systems that are specifically oriented towards sustainability, facilitating the transformation of sociotechnical systems. This perspective article presents a comprehensive framework that combines theoretical and practical perspectives for implementing innovation systems, incorporating the essential elements of normativity (directionality) and exploration required to drive such transformative processes.

Methodology: We formulated a methodological approach that provides innovation systems with normative and exploratory dimensions by synthesizing concepts and methods from several schools of thought, using Systems Analysis and Decision Analysis as conceptual frameworks.

Results: Within the context of sustainable development, the principles of sustainability serve as the guiding framework for innovation systems. To successfully implement this approach, it is crucial to integrate both normative analysis, which emphasizes the construction of a shared vision among stakeholders within the innovation system, and exploratory analysis, which aims to identify the most viable transformation pathways for realizing the desired future. Our proposed methodological perspective, referred to as Integrated Futures Analysis, is a step-by-step generalization built upon a synthesis of empirical approaches that combines normative and exploratory analysis. This approach aims to facilitate the understanding and implementation of sustainability-oriented innovation systems.

Conclusion: In this article, a synthetic and pragmatic approach to implementing sustainability-oriented innovation systems (SIS) was introduced. The perspective outlined in this article can be effectively employed by consultant teams to aid stakeholders and decision-makers in formalizing and enhancing SIS. Additionally, it helps in identifying the most appropriate actions and methods for implementation of SIS.

Introducción

La promoción de la innovación ha estado centrada en objetivos mediáticos de crecimiento económico y competitividad. En la última década, los esfuerzos en ciencia, tecnología e innovación (CTI) se han concentrado no sólo en el crecimiento económico, sino también en buscar la sostenibilidad ambiental y la justicia social. Este cambio de paradigma para abordar los grandes retos de la sociedad en cuanto a equidad social y sostenibilidad es llamado el *giro normativo* de las estrategias nacionales de CTI (Chaminade, 2022; Fergnani & Cooper, 2023; Haddad & Bergek, 2023; Lindner et al., 2016^a; Madsen, 2022; Rohracher et al., 2023). Se le llama “normativo” porque, en teoría de decisiones, el concepto de *normatividad* hace referencia a la identificación de las decisiones óptimas en función de los deseos o aspiraciones del tomador de decisiones (Elliott, 2019; Lindner et al., 2016a).

La reorientación de los esfuerzos de CTI para resolver los retos que enfrenta la sociedad es necesaria, pero gene-

ra problemas de coordinación y administración de esfuerzos en CTI. Desde la década de 1990, el concepto de *sistemas de innovación* ha sido usado como marco referencial para la discusión del tema de innovación, y como elemento de orientación conceptual y estratégica para diferentes escalas geográficas (Edquist, 2013; Freeman, 1995; Lundvall, 2012; Nelson, 1993). Sin embargo, ese concepto también ha recibido múltiples críticas por la carencia de teoría normativa que le permita ser usado en el nuevo contexto de CTI (Lindner et al., 2016a; Schlaile et al., 2017).

A pesar de las limitaciones de la visión clásica de los sistemas de innovación, el concepto es útil como marco de referencia para orientar los esfuerzos de CTI. Por ejemplo, se puede rescatar el énfasis en la interactividad e interdependencia entre diferentes actores, la concepción de la innovación como un esfuerzo colectivo llevado a cabo en un ambiente complejo, y la descripción explícita de los roles de las diferentes fuentes de innovación, y del aprendizaje recíproco como principales motores de la innovación (Metcalf, 2003; Soete et al., 2010).

En consideración a las debilidades del concepto clásico de sistemas de innovación y las expectativas actuales de la sociedad en cuanto a CTI, la pregunta que surge es cómo el enfoque de sistemas de innovación puede ser reestructurado para que le sea posible asumir los retos de direccionalidad y orientación normativa que la sostenibilidad impone sobre la innovación. Este artículo de revisión es una aproximación teórico-práctica que propone mecanismos para facilitar los procesos de implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad (SIS), y que incluye aspectos de normatividad (direccionalidad) y exploración necesarios para operar procesos de transformación. Para efectos prácticos, este trabajo describe un enfoque metodológico general para la implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad. Esta ruta metodológica permite que los grupos interesados identifiquen variantes metodológicas para cada uno de los pasos, y puedan escoger aquellas que se ajustan a sus propósitos o aquellas con las que están familiarizados. Esta ruta metodológica es, entonces, un punto de partida para emprender procesos estructurados de implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad.

Metodología

Este trabajo tiene una perspectiva pragmática de los sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad. Se define la metodología como pragmática porque sintetiza conceptos y métodos provenientes de diferentes líneas de pensamiento con el propósito funcional de desarrollar una herramienta que facilite el proceso de crear una visión del futuro deseado, tomar decisiones y promover la acción entre múltiples actores (Frápolli, 2023; Jackson, 2022; Kaushik & Walsh, 2019; Onwuegbuzie et al., 2009; Ormerod, 2023)¹. La metodología de este trabajo también es analítica, pues se enfoca en buscar una alternativa de solución (una optimización del proceso que se da al proveer armonización de conceptos) a un problema práctico (la implementación de los sistemas de innovación en condiciones de crecimiento económico limitado, o desarrollo sostenible).

Dos áreas interdisciplinarias fueron usadas como esqueleto para organizar y analizar conceptualmente la información presentada: análisis de sistemas (AS) (Breckling et al., 2011; Luhmann et al., 2013; Miser, 1994; Russo, 2010; Terentieva, 2018; von Bertalanffy, 1934) y análisis de decisiones (AD) (Baker et al., 2022; Bell et al., 1989; Keeney & Raiffa, 1976; Raiffa & Schlaifer, 1961; Whitney et al., 2023). Estas disciplinas son especialmente importantes al momento de definir en términos prácticos el concepto de *sistema*. La siguiente definición de sistema es común a ambas disciplinas: un sistema es una serie articulada de elementos necesarios para explicar una problemática con el propósito de encontrar una solución factible para ese problema. Esta

serie articulada de elementos define también los límites del sistema (Martin, 2008; Ulrich, 1988, 1993).

El siguiente aspecto valioso del uso de la base conceptual provista por AS y AD es que los conceptos *sistema* y *problema de decisión* son sinónimos, y en consecuencia el propósito de un observador o tomador de decisiones es poder identificar un curso de acción (o cursos de acción) para ofrecer los mayores beneficios (o perseguir una situación ideal definida por las preferencias del observador) (Larichev, 1983; Midgley & Lindhult, 2021; Miser, 1994; Terentieva, 2018; Ulrich, 1988, 1993).

Cuando existe un solo beneficio a alcanzar para un solo (tipo de) tomador de decisiones, la estimación del beneficio esperado (modelo de causalidad) es suficiente para definir el curso de acción a seguir. Sin embargo, cuando la solución debe ser optimizada para múltiples beneficios o múltiples actores, es necesario crear un modelo de preferencias (que refleja la preferencia diferencial del tomador de decisión por ciertos beneficios (Corner & Buchanan, 1997; Zionts, 1979)) o un modelo de valores (que define cuáles son los beneficios a obtener, y cuáles son preferidos por cada uno de los tipos de actores (Keeney, 1992, 1996)).

En el contexto moderno, los *grandes retos* (George et al., 2016; Kaufmann & Danner-Schröder, 2022)² o la construcción de políticas públicas orientadas a resolverlos (como los sistemas de innovación) son considerados problemas complejos de decisión, y exigen la integración de las actividades de ciencia, tecnología, e innovación, y los deseos de cambio y aspiraciones de la sociedad (en la actualidad, el desarrollo sostenible) (Gagnin et al., 2012; Savaget et al., 2019; Schlaile et al., 2017). Nuevamente, es aparente la necesidad de una serie de modelos cuando los problemas de decisión a resolver involucran diversos beneficios y varios tipos de tomadores de decisión (cada uno con intereses particulares). La serie de modelos de decisión necesarios para resolver este tipo de problemas es la siguiente:

- 1) La creación o construcción de una visión aspiracional (o de futuro) común deseada por un grupo de individuos o actores hacia la cual orientar las acciones. Los actores generalmente no concuerdan en cuáles son los beneficios deseados y se genera un efecto de ambigüedad que debe ser resuelto a través del ejercicio de análisis de decisiones. Este paso es conocido como análisis normativo (o modelo de valores).
- 2) Un análisis exploratorio orientado a encontrar la alternativa de acción (o alternativas para crear un portafolio) en capacidad de ofrecer los mayores retornos (el clásico problema de decisión representado por el modelo de causalidad).

Esta última secuencia es la usada en este documento para describir múltiples aproximaciones metodológicas

¹ La escuela filosófica pragmática considera que los únicos conceptos válidos son aquellos que tienen utilidad para explicar el mundo y planificar acciones.

² Grandes retos (*grand challenges*) son formulaciones de problemas sociales de carácter global que pueden llegar a ser resueltos a través de esfuerzos colaborativos coordinados. Existen varias versiones de estos grandes retos, pero los más comúnmente usados como referencia son los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), expuestos por la ONU. Algunos de los temas más comunes son el cambio climático, la explotación laboral, el hambre, la desigualdad y la pobreza.

(una de ellas son los sistemas de innovación) para dar direccionalidad y gobernanza a los esfuerzos en CTI orientados a la sostenibilidad (Cagnin et al., 2012; Ison, 2018; Midgley & Lindhult, 2021; Parks, 2022; Reid et al., 2010; Renn et al., 2011; Schlaile et al., 2017; Toffanin & von Gesseneck, 2021; Wesseling & Meijerhof, 2021). La sostenibilidad fue elegida como tema de direccionalidad y gobernanza porque representa un continuo en el concepto de innovación creado por Schumpeter (van Griethuysen, 2002)³. La innovación es un proceso orientado a incrementar la eficiencia técnica, originalmente concebido a partir de la ilusión de continuo crecimiento económico, sin consideración de las externalidades ambientales o los efectos sociales no deseados. Las circunstancias actuales obligan a considerar la innovación en un contexto distinto: las limitaciones de recursos para mantener el crecimiento económico actual, y la reorientación a largo plazo a fin de alcanzar el bienestar social y el mantenimiento de las condiciones de habitabilidad del planeta (Brand, 2016; Kanger et al., 2022; Miller et al., 2014; Wiek & Iwaniec, 2014).

Los términos más generales en la literatura anglosajona para describir la metodología presentada en este documento son *future studies* y *strategic foresight* (Gagnin et al., 2012; Iden et al., 2017; Kreibich et al., 2011; Slaughter, 2002). En español, el término más cercano, y más relacionado con los términos anglosajones, es *prospección estratégica* (probablemente por influencia de la escuela francesa de futuros llamada *la prospective* (Godet, 2010)). El enfoque aquí presentado no corresponde exactamente con este término, dado que *prospección estratégica* (*foresight*) es usado para describir ejercicios de planificación de horizontes temporales a largo plazo (décadas) en instituciones del sector privado (un solo actor). Este trabajo, en cambio, está orientado a la planificación de múltiples actores, bien sean un conjunto de varias instituciones o una comunidad (ciudad, pueblo, territorio) (Fergnani, 2021). En la literatura anglosajona, estos enfoques o métodos (integrados o en solitario) que se orientan a proveer gobernanza, visión y acción, para y por distintos actores (enfoque participativo) tiene varios nombres (Heiskanen et al., 2022), que incluyen (pero no están limitados a) *backcasting*, *integrated backcasting*, *participatory backcasting* (Bibri, 2018; Robinson et al., 2011; Vergragt & Quist, 2011), planificación de escenarios (Roubelat, 2000), ingeniería para la construcción de políticas públicas (Shively, 2017), mapas de rutas de políticas públicas (Miedzinski et al., 2022), políticas de innovación transformativa (Haddad & Bergek, 2023), gobernanza de sistemas complejos (Korosteleva & Petrova, 2022; Yap, 2022), sistemas hidrosociales (y su versión cuantitativa sociohidrología) (Ross & Chang, 2020). Una aproximación conceptual y metodológica usada con frecuencia en la literatura en español y cercana al ejercicio aquí presentado es la investigación-acción participativa, una variación del método *action research* (Lewin, 1946).

En resumen, la perspectiva metodológica aquí presentada es un ejercicio de reconciliación de diversas herramientas metodológicas. En consecuencia, a esta metodología se la puede llamar *metodología sintética* o meta-metodología perteneciente al área de futuros (*future studies*), enmarcada en la teoría de decisiones y su aplicación práctica. Dado el carácter pragmático y sintético (integración de métodos) de esta aproximación de futuros, la carencia de aproximaciones teóricas y prácticas en la literatura hispana (incluyendo el campo más amplio de construcción de políticas públicas (Hernández, 1999)), y la intención de promover la búsqueda participativa de soluciones (perspectiva analítica) a los problemas de sostenibilidad, hemos llamado a esta propuesta *análisis integrado de futuros*. Esta propuesta no intenta reemplazar los métodos relacionados ya establecidos u otras aproximaciones a los sistemas de innovación, sino que pretende dotar de un marco conceptual y de una estructura metodológica que permita armonizar (y/o mejorar) las metodologías existentes (especialmente su aplicación durante el establecimiento de sistemas de innovación) y facilite el diálogo entre equipos y el uso compartido de metodologías.

Este artículo de perspectiva está estructurado de la siguiente manera:

- 1) Descripción de los sistemas de innovación y sus limitaciones. En esta sección se presenta una breve perspectiva histórica del surgimiento del concepto de sistemas de innovación. No pretende ser una descripción exhaustiva, sino ilustrar la existencia de al menos dos corrientes principales en las que el concepto de sistemas de innovación ha sido usado:
 - a) Descripción de la articulación entre instituciones oferentes de tecnología, un sistema de firmas representado por los sistemas nacionales de innovación.
 - b) La orientación de acciones de CTI para la consolidación de sectores o nuevas aplicaciones tecnológicas. Este concepto es el comúnmente usado por los sistemas sectoriales o tecnológicos de innovación, e implícitamente o explícitamente está ligado con el concepto de sistemas sociotécnicos o de innovación sistémica.
- 2) Direccionalidad en los sistemas de innovación. En esta sección se describe la necesidad de direccionalidad para los sistemas de innovación. Se usa la sostenibilidad como el objeto orientador.
- 3) Un enfoque pragmático para la implementación de los sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad. Esta última sección es una aplicación práctica de los conceptos, pero no pretende ser una descripción metodológica única, sino una visión estructurada de las metodologías disponibles para la implementación de sistemas de innovación. En realidad, se pretende que esta descripción sea usada como punto de partida por diferentes grupos interesados en la implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad.

3 Aunque otros conceptos del tipo grandes retos como los objetivos de desarrollo sostenible, la seguridad alimentaria, o la creciente desigualdad social pueden ser usados como elementos orientadores.

Descripción de los sistemas de innovación y sus limitaciones

El concepto de innovación usado hoy en día fue formulado por Joseph Schumpeter en 1934: la innovación es definida como cualquier nuevo elemento que se suma al cuerpo existente de conocimiento técnico; y ese proceso resulta en una expansión de la frontera de la producción y en una contracción de la curva de costos asociada (Schumpeter, 1934, 1939). Esta fue la primera definición clara de cambio tecnológico que distingue entre invención, innovación, y difusión. En relación al carácter sistémico de la innovación, la contribución más importante de Schumpeter es la inclusión del comportamiento del emprendedor, y el contexto institucional y de mercado en la generación de la innovación (Clemence & Doody, 1951; Nelson & Winter, 1985; Spielman, 2006). El cambio tecnológico resultante de la innovación no es un proceso aislado, sino que ocurre en sistemas o espacios en los que interactúan diferentes elementos (recursos, instituciones, conocimiento, y marcos legales). Es en estos espacios en los que la innovación genera cambios y los individuos actúan en busca de nuevas posibilidades económicas o mayores beneficios. El análisis de los cambios provocados por la innovación tecnológica desde la perspectiva de sistemas es llamado sistemas de innovación (Carlsson & Stankiewicz, 1991).

Los sistemas de innovación pueden ser concebidos desde varias dimensiones o perspectivas. La dimensión física o geográfica y la dimensión funcional son las más ampliamente usadas. En la dimensión geográfica, el enfoque de sistemas de innovación fue usado por primera vez para describir y comparar las políticas de rápida industrialización desarrolladas en los años 1980 en Japón y varios países europeos y del este asiático. Esta aplicación resultó en el desarrollo del concepto de sistemas nacionales de innovación (Dosi, 1988; Edquist, 2013; Freeman, 1995; Lundvall, 2012; Nelson, 1993; Spielman, 2006). Este enfoque de SI es mayormente descriptivo (o analítico), y es usado como marco referencial para promover la integración de las instituciones relacionadas con CTI —es decir, el lado de la oferta de la innovación—, y en consecuencia la mejor descripción para él sería un sistema de instituciones (*system of firms*) (Bogner & Dahlke, 2022; Breschi & Malerba, 1997; Geels, 2004). En otras palabras, el enfoque SNI es una representación parcial del proceso de innovación como un sistema focalizado en las instituciones proveedoras de oferta tecnológica (se ignora en el modelo a los usuarios finales) y en resolver los problemas estructurales de articulación institucional. Además, este sistema asume que la innovación es importante sin consideraciones de dinámica y propósito de la innovación (o del sistema de innovación) (Andersson et al., 2021; Geels, 2004; Heiberg & Truffer, 2022; Lindner et al., 2016b; Quist, 2007).

Los sistemas de innovación concebidos desde la dimensión funcional o de propósito ofrecen una visión completa de la innovación que va más allá de la provisión de oferta tecnológica. Estos enfoques funcionales son una continuación histórica (no necesariamente lineal) y están relacionados con la teoría de la innovación de Schumpeter

(Schumpeter, 1934, 1939) y la teoría de sistemas sociotécnicos (Huertas Herrera et al., 2023; Kanger et al., 2022; Ropohl, 1999; Saviano et al., 2019)⁴. Los casos más representativos de este enfoque son los sistemas de innovación sectoriales y los sistemas de innovación tecnológica (dedicados a la introducción de nuevas tecnologías) (Célia & Marie-Benoît, 2023; Ortt & Kamp, 2022). La perspectiva funcional tiene una base más amplia de actores participantes en comparación con los enfoques basados en SNI (que promueven la participación preferencial de las instituciones oferentes de tecnología). Esta diferencia no es la única que separa a la perspectiva funcional de la innovación y los SNI: la perspectiva funcional está además enfocada en la interacción entre los actores, el flujo de conocimiento, la dinámica de las redes de conocimiento, y la coevolución de la innovación. Adicionalmente, la perspectiva funcional también incorpora una visión dinámica de los sistemas de innovación que permite, además de promover el cambio tecnológico, la reorientación hacia nuevos horizontes de mayores beneficios (innovación exploratoria o transición tecnológica) (Asna Ashari et al., 2023; Jiang & Liu, 2022; Prost et al., 2023).

Direccionalidad en los sistemas de innovación

El surgimiento continuo de nuevos ciclos de innovación expande la frontera productiva y permite la acumulación de capital financiero y humano. Ese crecimiento ha resultado en el desarrollo económico que la sociedad ha experimentado en los últimos siglos (Aldcroft & Richardson, 1969; Cooke et al., 1998). Sin embargo, este desarrollo económico ha estado concentrado en maximizar los beneficios individuales a corto plazo, sin consideración en cuanto a los efectos colaterales a largo plazo sobre el ambiente y el bienestar de la sociedad (Langlois & Everett, 1994; Magnusson, 1994). En estas condiciones, el crecimiento económico está confinado al carácter finito de los recursos naturales. La ilusión de un crecimiento económico sin límites era posible cuando las necesidades de la población humana eran inferiores a la capacidad de recuperación de la Tierra. El consumo de recursos asociado al ideal de crecimiento económico continuo ha superado la capacidad de recuperación de los ecosistemas, y hoy en día operamos en un planeta con capacidad de carga reducida. Afrontar este reto de recuperación de la capacidad de carga de los ecosistemas al mismo tiempo que el crecimiento económico y la justicia social son promovidos

4 El término “sistemas sociotécnicos” fue creado por Instituto Tavistock (Ropohl, 1999), y hace referencia a los sistemas que proveen funciones básicas a la sociedad tales como la provisión de alimento, energía, movilidad, vivienda, salud, finanzas y comunicaciones (Kanger et al., 2022). Desde una perspectiva integradora, los sistemas sociotécnicos y los sistemas socioecológicos son conceptos solapantes (Saviano et al., 2019) y cuando son descritos como espacios geográficos pueden ser conceptos equivalentes. El término sistemas socioecológicos es usado para describir el manejo sostenible de bosques, cuerpos de agua, plantaciones forestales, sistemas agrícolas, y sistemas pecuarios (Huertas Herrera et al., 2023). A fin de facilitar la lectura, el término sociotécnico es usado en este documento como una polisemia de socioecológico, siendo este último el concepto con el rango de significado más estrecho.

requiere de una visión distinta de innovación: el crecimiento económico bajo condiciones de recursos limitados, el llamado desarrollo sostenible o economía regenerativa (Alves et al., 2022; Duncan et al., 2020; Ibrahim & Ahmed, 2022; Lee et al., 2023; Shannon et al., 2022).

La innovación orientada exclusivamente al mercado se enfoca en las ganancias individuales, sin un objetivo distinto a la maximización de beneficios económicos a corto plazo. Este contexto económico de *laissez faire* basado en la optimización de demanda y oferta es denominado “la mano invisible” (en alusión a la ausencia de coordinación) (D’Agata, 2003). En el marco de la sostenibilidad, la innovación no es jalonada exclusivamente por la mano invisible, sino que intenta ser un proceso coordinado y reflexivo de innovación orientado a la maximización de beneficios colectivos a largo plazo (Holcombe, 2013). Reorientar los sistemas de innovación a este nuevo paradigma de innovación requiere que los procesos de construcción (formalización) de estos incluyan con claridad cuál es el propósito para el que fueron creados y qué acciones (rutas de transformación) tienen el potencial de alcanzar la sostenibilidad. En otras palabras, requieren dar direccionalidad al proceso de innovación (una nueva dimensión para los sistemas de innovación) (Benner et al., 2022; Brodnik & Dinges, 2022; Coenen et al., 2023; Klerkx et al., 2022; Lindner et al., 2016b; Robert & Yoguel, 2022; Schlaile et al., 2022).

Este cambio de perspectiva en cuanto a la innovación es el llamado giro normativo de los sistemas de innovación (Daimler et al., 2012; Lindner et al., 2016b). Esta perspectiva normativa de los sistemas de innovación provee el contexto para la pregunta sobre el propósito superior de un sistema de innovación (Lindner et al., 2016b; Ulrich, 1988, 1993). En esta misma línea, es necesario justificar la utilidad de los sistemas de innovación con la siguiente pregunta: ¿cuáles son las rutas de transformación (innovación) con el mayor potencial de transformar sistemas sociotécnicos en variadas condiciones ambientales y sociales (Svennevik, 2022)?

En el contexto de la sostenibilidad existe un problema con la pregunta del propósito superior de un SI: la presunción de que conocemos la dirección correcta. La sostenibilidad es un problema complejo o perverso; es decir, un problema con múltiples causas de difícil elucidación, embebido en la estructura de la sociedad, de efectos inciertos, y en consecuencia difícil o imposible de resolver completamente (Blok et al., 2016; Brown et al., 2010). El primer paso para simplificar medianamente esa complejidad es construir una definición explícita del problema de sostenibilidad a ser resuelto por el cambio tecnológico. Este proceso tiene a su vez dos problemas fundamentales:

- Primero, la direccionalidad es contraria a la naturaleza evolucionaria en la que comúnmente es gestada la innovación. La innovación surge del quehacer individual de actores de racionalidad limitada orientados por el mercado que colectivamente resulta en un proceso de propiedades emergentes dominado por efectos de retroalimentación, no linealidad e incertidumbre (Berkhout, 2005; Hodgson & Samuels, 1994; Smits et al., 2010). Es

en ese mismo contexto que la dimensión de direccionalidad de los sistemas de innovación debe ser creada para ofrecer racionalidad en horizontes a largo plazo caracterizados por altos niveles de incertidumbre y ambigüedad. A fin de poder funcionar en este contexto, las rutas de transformación hacia la sostenibilidad son concebidas como procesos de final abierto (horizonte indeterminado), con resultados escasamente predecibles a pesar de ser construidas con un propósito bien definido (WBGU, 2011).

- Segundo, es improbable alcanzar un consenso sobre una transformación deseada o un propósito concreto, ya que los problemas de sostenibilidad son perversos, y en ellos están involucrados múltiples actores con conflictos de intereses y expectativas (Berkhout, 2005, 2006). En consecuencia, abordar la direccionalidad también significa definir qué actores tienen la capacidad para dirimir la direccionalidad del sistema de innovación y guiar a las comunidades (y a la sociedad en general) hacia resultados de desarrollo sostenible (Berkhout, 2006; Parks, 2022; Schlaile et al., 2017).

Una vez definida la direccionalidad de los sistemas de innovación, surge la cuestión sobre la legitimidad del proceso. ¿Por qué un sistema de innovación debe tener un determinado propósito de sostenibilidad y no otro? ¿Quién decide escoger una ruta de transformación en particular? Las iniciativas *top-down* (arriba hacia abajo) usualmente lideradas por el gobierno central (o sus instituciones) han demostrado ser escasamente efectivas en el contexto de la sociedad moderna, la llamada “sociedad-red” (Castells, 2009; Reinhardt, 2022; van Dijk, 2012). El concepto de sociedad-red permite describir el carácter de la sociedad moderna, que está organizada alrededor de nodos de información no controlados por una autoridad central y que tiene la capacidad de moldear culturalmente a la sociedad. Estos aspectos de libertad en el flujo de información determinan el fin del monopolio del poder central en el establecimiento de regulaciones y normas sociales. Los SIS deben ser implementados en esta sociedad moderna, y en consecuencia existe una limitación operacional para la coordinación centralizada de los SIS. Así, el proceso de implementación de los SIS debe ser un proceso *bottom-up* (abajo hacia arriba), tanto en términos de participación de los actores locales, como de uso de las capacidades técnicas y científicas instaladas en las regiones (Berkhout, 2006; Bours et al., 2022; Hekkert, 2023; Schlaile et al., 2017). Este aspecto de descentralización limita la dominancia de grupos de interés en particular, e impone la necesidad de la reestructuración en las entidades gubernamentales (especialmente en países de gobiernos centralizados) a fin de ofrecer flexibilidad a la operación de sus oficinas regionales (Suominen et al., 2023; Tömmel, 1992).

Los SIS no pueden garantizar soluciones completamente correctas a los problemas de sostenibilidad, aun contando con el apoyo completo de todos los actores. Esta incertidumbre y ambigüedad —que es ignorada en el enfoque convencional de SI— es reconocida en los SIS, y es parte de las

brechas de conocimiento que deben ser abordadas por los investigadores dedicados a entender la innovación (innovación responsable) (Blok & Lemmens, 2015; Coffay et al., 2022; Kokotovich et al., 2021). Al igual que la provisión de oferta tecnológica, otro problema con los SIS es la necesidad de escalamiento del proceso de innovación y la construcción de una cultura local y regional capaz de promover la cooperación hacia la sostenibilidad (Clammer, 2016; Parodi, 2014). Estas brechas de conocimiento corresponden a procesos culturales dinámicos (evolutivos) subyacentes a la innovación. Estos procesos culturales moldean cada uno de los elementos que conforman los paradigmas de una sociedad (valores, propósitos, normas, y creencias). El contexto cultural así determina qué posibles direcciones (de transformación) y qué mecanismos de legitimidad son posibles para un SIS (Boyd & Richerson, 1988; Henrich, 2015; Opp, 1994; Waring, 2016; Waring et al., 2015; Wuketits, 1993).

El cambio cultural es una de las dimensiones contempladas en las transformaciones hacia la sostenibilidad. Este cambio representa una nueva brecha de conocimiento: ¿cómo la evolución cultural puede ser influenciada para contribuir con la emergencia de prácticas, instituciones, y paradigmas orientados a la sostenibilidad? (Beddoe et al., 2009; Brewer, 2015; Buenstorf & Cordes, 2008; Costanza, 2014; Creanza et al., 2017; Urmetzer et al., 2018). A partir de esta brecha, surgen varias preguntas: ¿quién será el responsable de liderar este proceso de cambio cultural? ¿A quién estará orientado? Estas cuestiones corresponden a los aspectos de responsabilidad dentro del SIS, y permiten describir la agencia de aquellos tomadores de decisión en posiciones críticas de poder (compartido) para motivar el cambio, y quién es responsable por las consecuencias. La responsabilidad social corporativa es un concepto bien establecido que no es suficiente para explicar la responsabilidad en los SIS. Los SIS están inmersos en un ambiente completamente distinto al de una organización privada. Los SIS están encargados de promover la innovación colectiva y la transformación en un sistema complejo de múltiples actores con intereses heterogéneos en un ambiente de incertidumbre —sin certeza de si las acciones del presente conducen al fin deseado— (French, 1998; French, 1991; Schlaile et al., 2017). En tales condiciones, es evidente que cuando se habla de responsabilidad no se hace referencia alguna a mecanismos de persecución legal o de identificación de culpables (responsabilidad individual o colectiva), sino a mecanismos de seguimiento de acciones para identificar los avances en las acciones propuestas, y eventualmente concentrar los esfuerzos en aquellas con el mayor potencial de beneficio o aquellas que han resultado más factibles de implementar (Patterson et al., 2017; Patterson, 2021; Schlaile et al., 2017).

Como conclusión, la direccionalidad permite operacionalizar el concepto de sostenibilidad en los sistemas de innovación a través de las siguientes dimensiones:

- El propósito del sistema de innovación.
- La legitimidad de los procesos de transformación al interior del SIS.

- Las responsabilidades del SIS.

Un sistema de innovación que ha adquirido estas dimensiones puede definirse como uno de múltiples individuos y organizaciones en capacidad de interactuar, acceder, intercambiar y usar conocimiento, y desarrollar actividades críticas de innovación tales como crear una visión, movilizar recursos, y crear gobernanza y legitimidad para el cambio (Klerkx et al., 2022; Schlaile et al., 2017).

Un enfoque pragmático para la implementación de los sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad

Este documento, además de describir teóricamente la necesidad de incluir la sostenibilidad como una dimensión de direccionalidad y normatividad en los SIS, tiene el propósito de describir un enfoque general modular para su implementación al usar una combinación de perspectivas analíticas y métodos. Un enfoque pragmático de este tipo provee flexibilidad a los equipos interesados en promover rutas de transformación a la sostenibilidad, y es un punto de apoyo para los actores en su rol de tomadores de decisiones. Además, es un punto de entrada a los conceptos y métodos usados en la implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad.

Los enfoques de sistemas de innovación orientados a la solución de problemas (incluido el objetivo de alcanzar el desarrollo sostenible) contienen dos fases analíticas: un análisis normativo (direccionalidad); y un análisis exploratorio. La primera fase está enfocada en definir el problema a resolver bajo condiciones de ambigüedad (las diversas expectativas e intereses de los actores participantes), mientras que la segunda intenta encontrar los caminos más seguros para alcanzar la solución deseada bajo condiciones de riesgo e incertidumbre. Esta combinación permite emular las funciones requeridas por los SIS, pero sobre todo estructurar el proceso de colección, organización y análisis de la información recogida a fin de ser usada en el proceso de toma de decisiones.

Una metodología integrada (figura 1) que combina ambos análisis contiene los siguientes pasos:

- 1) Orientación estratégica del problema
- 2) Creación de la visión de futuro
- 3) Construcción de las rutas de transformación orientadas al futuro visionado
- 4) Selección de las rutas alternativas con el mayor potencial para alcanzar el futuro
- 5) Identificación de actores responsables para la implementación de las rutas alternativas y de las actividades necesarias para su implementación (Pereverza et al., 2019; Quist & Vergragt, 2006; Quist et al., 2006; Ziegler & Porto-de-Oliveira, 2022)

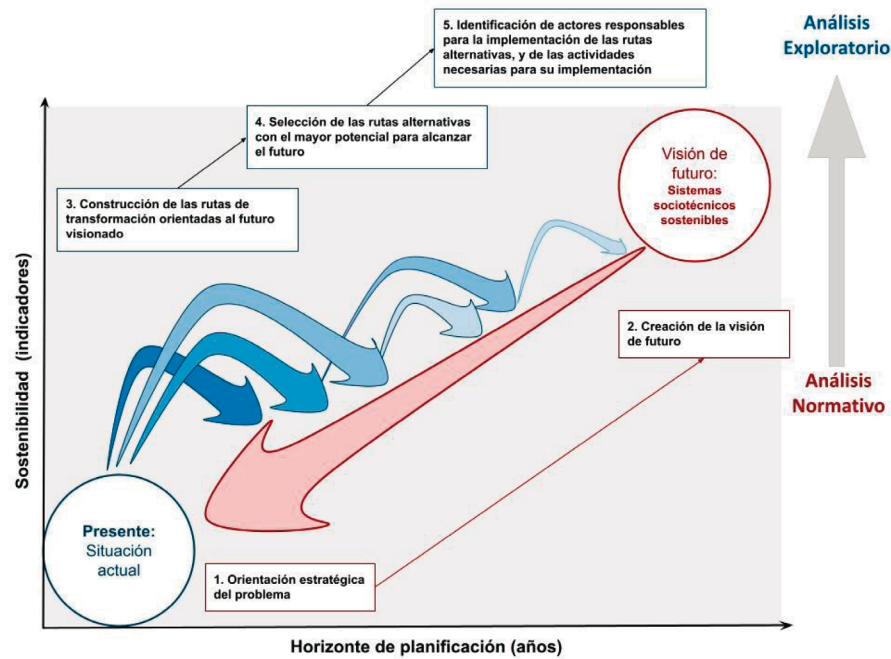


Figura 1. Pasos genéricos para la implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad (SIS) siguiendo un análisis integrado de futuros. Los resultados del análisis normativo son usados como insumo para el análisis exploratorio. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Pasos metodológicos y actividades generales para la implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad (SIS) usando un análisis integrado de futuros

Tipo de análisis de decisión	Pasos	Actividad	Descripción	Métodos
Análisis normativo	1. Orientación estratégica del problema	Formulación del problema	Formulación del principal problema a ser resuelto. Identificación de los principales retos a ser superados	Análisis de tendencias; evaluación de la sostenibilidad de las soluciones o acciones actuales, entrevistas centradas en el problema; desarrollo de modelos conceptuales grupales o participativos; establecimiento de arenas misionales. (Baarends, 2022; Monteiro Moretti et al., 2023; Toillier et al., 2022)
		Límites del sistema	Descripción del sistema sociotécnico o socioecológico del problema formulado (análisis estructural, funcional, y dinámico, con especial énfasis en determinar los límites del sistema)	Análisis de sistemas sociotécnicos o sociológicos desde la perspectiva de procesos; análisis de ciclo de vida; definición del sistema en función de aspectos geográficos o culturales (nación, territorios)

(Continúa)

Tipo de análisis de decisión	Pasos	Actividad	Descripción	Métodos
Análisis normativo	1. Orientación estratégica del problema	Situación actual	Análisis de la situación actual de sistema sociotécnico o socioecológico	Recopilación de datos cuantitativos que describen el estado actual (análisis estadístico o curvas de distribución de probabilidades); análisis de rutas de impacto; identificación de subsistemas; comparaciones de tecnología convencional con alternativas sostenibles
		Análisis de actores	Definición de los actores que pueden apoyar o limitar la búsqueda de soluciones y de aquellos que van a resultar ser afectados	Análisis de impacto de poder; análisis de roles de los actores; análisis de constelaciones; matriz de alianzas y conflictos: tácticas, objetivos y recomendaciones (MAC-TOR); análisis de actores críticos
		Necesidades y funciones	Exploración de las funciones actuales y futuras, y de las necesidades sociales que deben ser satisfechas	Preguntas del tipo <i>¿Por qué debemos hacer esto?</i>
	2. Creación de la visión de futuro	Visión	Creación de la visión del futuro sostenible deseado	Historias narrativas; lluvia de ideas; obtención de información de expertos; desarrollo informal de misiones; formulación de la misión; tres horizontes (Anand et al., 2022; Baarends, 2022)
		Indicadores	Definición y de los indicadores (y de los rangos cuantitativos) que describen la visión de futuro sostenible	Cuantificación con expertos o información experimental disponible
Análisis exploratorio	3. Construcción de las rutas de transformación orientadas al futuro visionado	Creación de escenarios	Creación de escenarios futuros sostenibles (un espacio completo de escenarios, o una selección de aquellos mas relevantes)	Modelamiento de escenarios a través de análisis morfológico; escenarios narrativos; evaluación cuantitativa de las narrativas de futuro; análisis de retos para la implementación de una solución; modelos matemáticos como los desarrollados en investigación de operaciones o modelos lógicos como los desarrollados en análisis de sistemas; tres horizontes (Andrade et al., 2022; Calleo et al., 2023; Copeland et al., 2022; Ihamouchène, 2022; Jiren et al., 2023; Kishita et al., 2023; Larichev, 1983; Schaal et al., 2023; Sisto et al., 2022)
		Fuerzas externas	Identificación de fuerzas externas que pueden impactar los escenarios identificación de tendencias e incertidumbres claves	Evaluación de incertidumbre en la evaluación de impacto; simulación de fuerzas externas; tendencias e incertidumbres usando simulaciones probabilísticas
		Evaluación de escenarios	Selección de un escenario a ser implementado (la resiliencia a las fuerzas externas es uno de los criterios de selección)	Evaluación de criterios; evaluación de sensibilidad; evaluación de sostenibilidad; modelamiento de los indicadores objetivo a ser alcanzados en los escenarios seleccionados.

(Continúa)

Tipo de análisis de decisión	Pasos	Actividad	Descripción	Métodos
Análisis exploratorio	4. Selección de las rutas alternativas con el mayor potencial para alcanzar el futuro	Desarrollo de rutas de transformación	Desarrollo de las rutas que son requeridas para alcanzar la visión de futuro deseado a través de un escenario seleccionado	Lluvia de ideas; consulta con expertos en entrevistas y grupos focales; mapa de rutas tecnológicas; portafolio de teorías de cambio (TdC) de las intenciones de las acciones desarrolladas por los actores (Chakraborty et al., 2022; Gupta et al., 2022; Rohracher et al., 2023; Yuskevich et al., 2021)
		Selección de las rutas de transformación	Selección de las rutas de transformación con el mayor potencial de alcanzar la visión de futuro a través del escenario seleccionado.	Modelamiento y simulaciones probabilísticas; aproximaciones cuantitativas heurísticas para la selección de las mejores alternativas
	5. Identificación de actores responsables para la implementación de las rutas alternativas, y de las actividades necesarias para su implementación	Plan de acción Monitoreo	Creación de un plan de acción alineado con las rutas seleccionadas a cargo de cada uno de los actores participantes Diseño de un programa de monitoreo para la implementación de los planes de acción y el alineamiento entre los resultados obtenidos y los esperados	Técnicas de manejo de proyectos, evaluación de la capacidad de influencia de cada actor participante; evaluación y monitoreo del proceso de transformación del sistema sociotécnico (Monteiro Moretti et al., 2023; Prasad et al., 2023; Rohracher et al., 2023; Wise et al., 2022),

Fuente: elaboración propia a partir de Bibri & Krogstie, 2019; Bibri, 2018, 2020; de Boon et al., 2022; Futures CoLab, 2019; Quist et al., 2006; Quist, 2013.

Existen múltiples variaciones metodológicas para desarrollar cada uno de los pasos de un análisis integrado de futuros. Sin embargo, al igual que los pasos, estas metodologías son genéricas y pueden ser usadas para ajustarse específicamente a las condiciones del problema a resolver, o puede ajustarse a las preferencias del equipo que hace las veces de coordinador de la implementación del SI o ejecutor del proyecto. La tabla 1 describe los pasos y las actividades correspondientes al análisis normativo y exploratorio para la implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad.

Es bastante probable que el reto de implementación de los SIS tenga que ser llevado a cabo por equipos sin experiencia en las disciplinas de prospección estratégica, desarrollo de políticas públicas, análisis de sistemas o análisis de decisiones. Esta no es una excusa para no abordar una perspectiva sistémica de la innovación en los territorios (no hacer nada también es una decisión con resultados negativos cuando existe la necesidad de cambiar el futuro) o desarrollar una mejor gobernanza local de la ciencia, tecnología e innovación. Esta carencia de experiencia puede ser vista como una barrera técnica que debe superarse o como una invitación a aceptar las limitaciones técnicas del sistema sociotécnico a intervenir. En ningún caso, la decisión de actuar puede ser postergada, dado que continuar en la trayectoria actual es conducente a un escenario que amenaza con la pérdida completa de las condiciones necesarias para la supervivencia de las poblaciones humanas. Pensando en este escenario, la tabla 2 reúne preguntas orientadoras para cada uno

de los pasos de este análisis integral. Este proceso genera información cualitativa para apoyar el proceso racional de toma de decisiones o la selección de acciones en horizontes de largo plazo (la justificación práctica para la existencia de un sistema de innovación explícitamente definido y separado del sistema sociotécnico que representa). Los pasos presentados en las tablas 1 y 2 son descritos con mayor detalle en el material suplementario 1 (<https://osf.io/6x5pg/>).

Conclusión

Este trabajo presenta una perspectiva integrada de análisis normativo y exploratorio para la implementación de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad. Esta perspectiva ha sido denominada *análisis integrado de futuros*. La palabra “integrado” se refiere a la fusión de dos tipos de análisis que, en conjunto, permiten integrar la aspiración a una transformación sostenible con la urgencia de las acciones en el presente. El término “futuros” es usado para describir el carácter dinámico con el que la innovación es conceptualizada y la orientación a apoyar procesos de escala local o regional con la participación de múltiples actores. Esta última definición permite separar esta perspectiva del método más convencional de prospección estratégica (*strategic foresight*) usado al interior de las instituciones (privadas).

Tabla 2. Preguntas orientadoras para desarrollar la versión cualitativa del análisis integrado de futuros como herramienta para el fortalecimiento de sistemas de innovación orientados a la sostenibilidad

Tipo de análisis de decisión	Pasos	Preguntas orientadoras
Análisis normativo	1. Orientación estratégica del problema	¿Cuál es el sistema (sociotécnico o socioecológico) a ser estudiado? ¿Cuáles son las necesidades de la sociedad que serán resueltas por el sistema sociotécnico? ¿Cuáles son los factores (tendencias y nuevas tecnologías) que afectan la estructura, función y dinámica del sistema, o su capacidad para cumplir con las necesidades de la sociedad? ¿Cuáles son los principales retos de largo plazo (sostenibilidad) que deben ser resueltos? ¿Cuáles son sus causas?
	2. Creación de la visión de futuro	¿Cómo es el problema definido y cuáles son las percepciones existentes del problema? ¿Cuáles son los descriptores (dimensiones o términos de referencia) de los escenarios de futuro seleccionados? ¿Cómo será el sistema sociotécnico en 10 o 20 años para cada una de las dimensiones de la visión de futuro (estos son los escenarios de futuro también llamados escenarios narrativos)? Tres a cinco escenarios son seleccionados y para cada uno de ellos contesta las preguntas descritas a continuación. ¿Cómo las fallas del sistema serán corregidas? ¿Cuáles soluciones fueron creadas para satisfacer las necesidades de la sociedad? ¿Qué problemas estructurales (retos) serán resueltos? ¿Cuáles tecnologías serán usadas en el escenario deseado? ¿Cuáles serán las diferencias sociales, económicas, y culturales del sistema sociotécnico del futuro en comparación con el sistema actual? ¿Cómo la población afectada por las rutas de transformación propuestas vivirán los escenarios de futuro deseados? ¿Cómo ese futuro de la población será más sostenible, y más atractivo que el futuro que tienen hoy?
Análisis exploratorio	3. Construcción de las rutas de transformación	¿Qué cambios tecnológicos son necesarios para que el sistema sociotécnico alcance los escenarios de futuro seleccionados? ¿Cuáles cambios culturales son necesarios? ¿Cuáles cambios estructurales, institucionales y regulatorios son necesarios? ¿Cómo estos cambios se van a llevar a cabo y qué actores son necesarios para desarrollar esos cambios? ¿Cuáles logros de corto y mediano plazo son necesarios para alcanzar los cambios tecnológicos, culturales, y estructurales necesarios para alcanzar los escenarios de futuros deseados?
	4. Selección de las rutas alternativas con el mayor potencial para alcanzar el futuro	¿Describir en detalle el sistema sociotécnico del futuro para cada una de las rutas de transformación (escenarios) seleccionadas? ¿Cuáles son los cambios observados en la dimensión social, individual, ambiental, económico, y otros? ¿Cuáles son los factores promotores, limitantes y barreras para alcanzar el escenario futuro deseado?
	5. Identificación de actores responsables para la implementación de las rutas alternativas, y de las actividades necesarias para su implementación	¿Qué puede hacer cada uno de los diferentes grupos de actores para alcanzar los escenarios de futuro seleccionados (plan de acción)? ¿Cuáles de esos actores deben construir agendas o planes de acción específicos? ¿Cuáles actividades pueden empezar ahora, y quiénes deben ser los encargados de liderar esas acciones? ¿Cómo será monitoreado el proceso de transformación del sistema (plan de seguimiento)? ¿Quién contribuirá a cada uno de esos cambios y en qué forma? ¿Cómo los actores y expertos perciben los escenarios de futuro seleccionados (qué tan atractivos y factibles son), el análisis desarrollado para su creación, el plan de acción y la agenda de seguimiento propuesta?

Fuente: elaboración propia a partir de Bibri & Krogstie, 2019; Bibri, 2018, 2020; de Boon et al., 2022; Futures CoLab, 2019; Quist, 2013; Quist et al., 2006.

El análisis normativo es el elemento metodológico crítico que permite la integración del concepto de sostenibilidad a la perspectiva de los sistemas de innovación. Los sistemas de innovación convencionales están orientados a apoyar el proceso de provisión de oferta tecnológica por parte de instituciones públicas o privadas. Este sesgo resulta en una perspectiva limitada de la innovación. En este contexto, la innovación es promovida sin un propósito definido, y está a merced de la mano invisible del mercado (los efectos de corto plazo de acumulación de beneficios económicos individuales), y la demanda es, a efectos prácticos, fundamentalmente ignorada (es tratada como un problema no estructurado en la forma de una lista de necesidades). El análisis normativo corrige estas debilidades y permite la operacionalización del concepto de sostenibilidad para así proveer direccionalidad a los sistemas de innovación. La mano invisible del mercado como guía de la innovación es reemplazada por un proceso de innovación direccionado por las aspiraciones de la comunidad.

Existen múltiples secuencias metodológicas para desarrollar análisis normativo y exploratorio. La selección específica de los métodos está básicamente determinada por los recursos disponibles, pero es posible desarrollar una selección racional de métodos si existe claridad sobre los pasos genéricos al interior del análisis normativo y exploratorio. Este trabajo presenta una descripción sintética de esta perspectiva integrada, enfocada en proveer una imagen de los pasos genéricos y las posibles alternativas metodológicas o de descripción para cada paso. De este modo, aquellos grupos interesados en introducir el concepto de sostenibilidad en sus procesos de innovación pueden tener acceso a un set variado de metodologías, pero sobre todo a un conocimiento práctico del propósito de cada uno de los pasos para la selección de métodos, e identificar cómo cada paso está relacionado con los demás. En este sentido, el propósito de este artículo es facilitar el escalamiento en el proceso de innovación orientada a la sostenibilidad. En el caso particular de la política de CTI de Colombia, el propósito de este artículo es presentar una estructura racional y pragmática para apoyar las múltiples iniciativas para la implementación de los sistemas territoriales de innovación.

Financiación

Este artículo fue parcialmente financiado con fondos de Stiftung fiat panis, the German Academic Exchange Service (DAAD), y AGROSAVIA.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no tienen afiliaciones o relaciones de interés financiero en relación a los conceptos discutidos en este manuscrito.

Material suplementario

Material suplementario a este artículo se encuentra disponible en <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/6X5PG>

Referencias

- Aldcroft, D. H., & Richardson, H. W. (1969). The business cycle. En *The British economy 1870-1939* (pp. 23-61). Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1007/978-1-349-15346-6_2
- Alves, F. M., Santos, R., & Penha-Lopes, G. (2022). Revisiting the missing link: An ecological theory of money for a regenerative economy. *Sustainability*, 14(7), 4309. <https://doi.org/10.3390/su14074309>
- Anand, M., Pandey, R., & Kedia, S. (2022). Mission-oriented innovation systems in the climate change context. En *Innovation systems, economic development and public policy: Sustainable options from emerging economies* (pp. 352-370). Routledge India. <https://doi.org/10.4324/9781003353904-21>
- Andersson, J., Hellsmark, H., & Sandén, B. (2021). The outcomes of directionality: Towards a morphology of sociotechnical systems. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 40, 108-131. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.06.008>
- Andrade, S. B., Sools, A., & Saghai, Y. (2022). Writing styles and modes of engagement with the future. *Futures*, 141, 102986. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102986>
- Asna Ashari, P., Blind, K., & Koch, C. (2023). Knowledge and technology transfer via publications, patents, standards: Exploring the hydrogen technological innovation system. *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122201. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122201>
- Baarends, K. (2022). *Analysis of the Dutch Mission-Oriented Innovation System (MIS) for a natural gas-free built environment* [Tesis de maestría, Innovation Science, Utrecht University]. <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/42829>
- Baker, C. M., Campbell, P. T., Chades, I., Dean, A. J., Hester, S. M., Holden, M. H., McCaw, J. M., McVernon, J., Moss, R., Shearer, F. M., & Possingham, H. P. (2022). From climate change to pandemics: Decision science can help scientists have impact. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.792749>
- Beddoe, R., Costanza, R., Farley, J., Garza, E., Kent, J., Kubiszewski, I., Martinez, L., McCowen, T., Murphy, K., Myers, N., Ogden, Z., Stapleton, K., & Woodward, J. (2009). Overcoming systemic roadblocks to sustainability: The evolutionary redesign of worldviews, institutions, and technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(8), 2483-2489. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812570106>
- Bell, D. E., Raiffa, H., & Tversky, A. (1989). *Decision making: Descriptive, normative, and prescriptive interactions* (Illustrated, P. 634). Cambridge University Press.
- Benner, M., Marklund, G., & Schwaag Serger, S. (2022). Towards transformative policy in Finland and Sweden: Some viewpoints from practice. En *Smart policies for societies in transition: The innovation challenge of inclusion, resilience and sustainability* (pp. 143-188). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781788970815.00012>
- Berkhout, F. (2005). Technological regimes, environmental performance and innovation systems: Tracing the links. En M. Weber & J. Hemmelskamp (Eds.), *Towards environmental innovation systems* (pp. 57-80). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/3-540-27298-4_4
- Berkhout, F. (2006). Normative expectations in systems innovation. *Technology Analysis & Strategic Management*, 18(3-4), 299-311. <https://doi.org/10.1080/09537320600777010>
- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2019). A scholarly backcasting approach to a novel model for smart sustainable cities of the future: Strategic problem orientation. *City, Territory and Architecture*, 6(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40410-019-0102-3>

- Bibri, S. E. (2018). Backcasting in futures studies: A synthesized scholarly and planning approach to strategic smart sustainable city development. *European Journal of Futures Research*, 6(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40309-018-0142-z>
- Bibri, S. E. (2020). A methodological framework for futures studies: Integrating normative backcasting approaches and descriptive case study design for strategic data-driven smart sustainable city planning. *Energy Informatics*, 3(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s42162-020-00133-5>
- Blok, V., Gremmen, B., Wesselink, R., & Philosophy Documentation Center. (2016). Dealing with the wicked problem of sustainability: The role of individual virtuous competence. *Business and Professional Ethics Journal*, 34(3), 297-327. <https://doi.org/10.5840/bpej201621737>
- Blok, V., & Lemmens, P. (2015). The emerging concept of responsible innovation. Rhree reasons why it is questionable and calls for a radical rransformation of the concept of innovation. En B.-J. Koops, I. Oosterlaken, H. Romijn, T. Swierstra, & J. van den Hoven (Eds.), *Responsible innovation 2* (pp. 19-35). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17308-5_2
- Bogner, K., & Dahlke, J. (2022). Born to transform? German bioeconomy policy and research projects for transformations towards sustainability. *Ecological Economics*, 195, 107366. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107366>
- Bours, S. A. M. J. V., Wanzenböck, I., & Frenken, K. (2022). Small wins for grand challenges. A bottom-up governance approach to regional innovation policy. *European Planning Studies*, 30(11), 2245-2272. <https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1980502>
- Boyd, R., & Richerson, P. J. (1988). *Culture and the evolutionary process* (First Paperback Edition, p. 340). University of Chicago Press.
- Brand, U. (2016). "Transformation" as a new critical orthodoxy: The strategic use of the term "transformation" does not prevent multiple crises. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, 25(1), 23-27. <https://doi.org/10.14512/gaia.25.1.7>
- Breckling, B., Jopp, F., & Reuter, H. (2011). System analysis and context assessment. En F. Jopp, H. Reuter, & B. Breckling (Eds.), *Modelling complex ecological dynamics: An introduction into ecological modelling for students, teachers & scientists* (Pp. 43-54). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05029-9_4
- Breschi, S., & Malerba, F. (1997). Sectoral innovation systems: Technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. En C. Edquist (Ed.) *Systems of innovation: Technologies*. Routledge.
- Brewer, J. (2015). Tools for culture design: Toward a science of social change. *Spana*, 6, 67-73.
- Brodnik, C., & Dinges, M. (2022). The evolution of research and innovation policy paradigms and associated evaluation and indicator frameworks. En *Transformative metrics. contributions to the studies for monitoring and evaluating how science, technology, and innovation can address social and environmental challenges*. Fondo Editorial FCSH. https://doi.org/10.17533/978-628-7592-15-5_1
- Brown, V., Harris, J., & Russell, J. (2010). *Tackling wicked problems: Through the transdisciplinary imagination*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849776530>
- Buenstorf, G., & Cordes, C. (2008). Can sustainable consumption be learned? A model of cultural evolution. *Ecological Economics*, 67(4), 646-657. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.01.028>
- Cagnin, C., Amanatidou, E., & Keenan, M. (2012). Orienting European innovation systems towards grand challenges and the roles that FTA can play. *Science and Public Policy*, 39(2), 140-152. <https://doi.org/10.1093/scipol/scs014>
- Calleo, Y., Di Zio, S., & Pilla, F. (2023). Facilitating spatial consensus in complex future scenarios through real-time spatial Delphi: A novel web-based open platform. *Futures & Foresight Science*. <https://doi.org/10.1002/ffo2.155>
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), 93-118. <https://doi.org/10.1007/BF01224915>
- Castells, M. (2009). *The rise of the network society* (2nd ed., p. 656). Wiley-Blackwell.
- Célia, C., & Marie-Benoît, M. (2023). Knowledge and network resources in innovation system: How production contracts support strategic system building. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 47, 100712. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100712>
- Chakraborty, S., Nijssen, E. J., & Valkenburg, R. (2022). A systematic review of industry-level applications of technology roadmapping: Evaluation and design propositions for roadmapping practitioners. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121141. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121141>
- Chaminade, C. (2022). Transitioning paths to a sustainable forest-based bioeconomy in Sweden? A deeper look at the innovation networks. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4236029>
- Clammer, J. (2016). *Cultures of transition and sustainability: Culture after capitalism* (1st ed. 2016, p. 203). Palgrave Macmillan.
- Clemence, R. V., & Doody, F. S. (1951). The Schumpeterian system. *Economica*, 18(69), 114. <https://doi.org/10.2307/2601594>
- Coenen, T. B. J., Visscher, K., & Volker, L. (2023). A systemic perspective on transition barriers to a circular infrastructure sector. *Construction Management and Economics*, 41(1), 22-43. <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2151024>
- Coffay, M., Coenen, L., & Tveterås, R. (2022). Effectuated sustainability: Responsible innovation labs for impact forecasting and assessment. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134324. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134324>
- Cooke, P., Uranga, M. G., & Etxebarria, G. (1998). Regional systems of innovation: An evolutionary perspective. *Environment and Planning A*, 30(9), 1563-1584. <https://doi.org/10.1068/a301563>
- Copeland, C., Turner, B., Powells, G., & Wilson, K. (2022). In search of complementarity: Insights from an exercise in quantifying qualitative energy futures. *Energies*, 15(15), 5340. <https://doi.org/10.3390/en15155340>
- Corner, J. L., & Buchanan, J. T. (1997). Capturing decision maker preference: experimental comparison of decision analysis and MCDM techniques. *European Journal of Operational Research*, 98(1), 85-97. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00326-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00326-6)
- Costanza, R. (2014). A theory of socio-ecological system change. *Journal of Bioeconomics*, 16(1), 39-44. <https://doi.org/10.1007/s10818-013-9165-5>
- Creanza, N., Kolodny, O., & Feldman, M. W. (2017). Cultural evolutionary theory: How culture evolves and why it matters. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(30), 7782-7789. <https://doi.org/10.1073/pnas.1620732114>
- D'Agata, A. (2003). Competition, rent seeking and growth: Smith versus the endogenous growth theory. En N. Salvadorini (Ed.), *The theory of economic growth: The classical perspective*. Edward Elgar Publishing.
- Daimler, S., Hufnagl, M., & Warnke, P. (2012). 11 Challenge-oriented policy-making and innovation systems theory: Reconsidering systemic instruments. En Fraunhofer ISI (Ed.), *Innovation system revisited. Experiences from 40 years of Fraunhofer ISI Research* (pp. 217-234). Fraunhofer Information-Centre for Regional Planning and Building Construction IRB.
- de Boon, A., Sandström, C., & Rose, D. C. (2022). Governing agricultural innovation: A comprehensive framework to underpin sustainable transitions. *Journal of Rural Studies*, 89, 407-422. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.07.019>
- Dosi, G. (1988). The nature of the innovative process. En G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete (Eds.), *Technical change and economic theory*. Pinter Publishers.
- Duncan, J., Wiskerke, J. S. C., Johannes S. C., & Carolan, M. S. (2020). *Routledge Handbook of sustainable and regenerative food systems* (1st ed., p. 478). Routledge.
- Edquist, C. (Ed.). (2013). *Systems of innovation*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203357620>
- Elliott, E. (2019). Normative decision theory. *Analysis*, 79(4), 755-772. <https://doi.org/10.1093/analys/anz059>
- Fernani, A., & Cooper, B. (2023). Metamodern futures: Prescriptions for metamodern foresight. *Futures*, 149, 103135. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103135>

- Fernani, A. (2021, April 30). Futures studies, foresight, futurism, futurology, futures thinking...what name??? . *Predict | Medium*. <https://medium.com/predict/futures-studies-foresight-futurism-futurology-futures-thinking-what-name-3b3863ceab8c>
- Frápolli, M. J. (2023). Pragmatism and metaphysics: The general background. En *The priority of propositions. A pragmatist philosophy of logic* (vol. 475, pp. 3-28). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25229-7_1
- Freeman, C. (1995). The 'national system of innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.cje.a035309>
- French, E. A. (1998). *Individual and collective responsibility* (2nd ed., p. 297). Schenkman Books.
- French, P. A. (1991). *The spectrum of responsibility* (p. 327). St Martins Pr.
- Futures CoLab. (2019). How does it work - Futures CoLab. <https://futurescolab.org/page/how-does-it-work>
- Gagnin, C., Havas, A., & Saritas, O. (2012). Future-oriented technology analysis: Its potential to address disruptive transformations. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), 379-385. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162512002454>
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. *Research Policy*, 33(6-7), 897-920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- George, G., Howard-Grenville, J., Joshi, A., & Tihanyi, L. (2016). Understanding and tackling societal grand challenges through management research. *Australasian Medical Journal*, 59(6), 1880-1895. <https://doi.org/10.5465/amj.2016.4007>
- Godet, M. (2010). *Use and misuse of scenario building* (Cahiers Du LIPSOR LIPSOR Working Paper Research Working Paper 10). Laboratoire d'Innovation de Prospective Stratégique et d'Organisation (LIPSOR). <http://en.laprospective.fr/dyn/anglais/ouvrages/sr10veng.pdf>
- Gupta, N., Park, H., & Phaal, R. (2022). The portfolio planning, implementing, and governing process: An inductive approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121652. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121652>
- Haddad, C. R., & Bergek, A. (2023). Towards an integrated framework for evaluating transformative innovation policy. *Research Policy*, 52(2), 104676. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104676>
- Heiberg, J., & Truffer, B. (2022). Overcoming the harmony fallacy: How values shape the course of innovation systems. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42, 411-428. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.01.012>
- Heiskanen, A., Hurmekoski, E., Toppinen, A., & Näyhä, A. (2022). Exploring the unknowns - State of the art in qualitative forest-based sector foresight research. *Forest Policy and Economics*, 135, 102643. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102643>
- Hekkert, M. P. (2023). Response to "missions and mission-oriented innovation policy for sustainability: A review and critical reflection". *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100722>
- Henrich, J. (2015). *The secret of our success: How culture is driving human evolution, domesticating our species, and making us smarter* (p. 464). Princeton University Press.
- Hernández, G. (1999). El análisis de las políticas públicas: una disciplina incipiente en Colombia. *Revista de Estudios Sociales*, 4, 80-91. <https://doi.org/10.7440/res4.1999.06>
- Hodgson, G. M., & Samuels, W. J. (1994). *The Elgar companion to institutional and evolutionary economics* (p. 896). Edward Elgar Pub.
- Holcombe, R. G. (2013). Planning and the invisible hand: Allies or adversaries? *Planning Theory*, 12(2), 199-210. <https://doi.org/10.1177/1473095212458270>
- Huertas Herrera, A., Toro-Manríquez, M. D. R., Lorenzo, C., Lencinas, M. V., & Martínez Pastur, G. (2023). Perspectives on socio-ecological studies in the Northern and Southern hemispheres. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 66. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01545-w>
- Ibrahim, I., & Ahmed, N. (2022). Investigating regenerative ideation within sustainable development goals. *Sustainability*, 14(16), 10137. <https://doi.org/10.3390/su141610137>
- Iden, J., Methlie, L. B., & Christensen, G. E. (2017). The nature of strategic foresight research: A systematic literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 116, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.002>
- Ihamouchène, M. (2022). What are the socio-technical, normative, and political barriers to implementing a forest-based mitigation pathway in England? An innovation system analysis of the challenges. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4200027>
- Ison, R. (2018). Governing the human-environment relationship: Systemic practice. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 33, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.05.009>
- Jackson, M. C. (2022). Rebooting the systems approach by applying the thinking of Bogdanov and the pragmatists. *Systems Research and Behavioral Science*. <https://doi.org/10.1002/sres.2908>
- Jiang, Z., & Liu, Z. (2022). Policies and exploitative and exploratory innovations of the wind power industry in China: The role of technological path dependence. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121519. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121519>
- Jiren, T. S., Abson, D. J., Schultner, J., Riechers, M., & Fischer, J. (2023). Bridging scenario planning and backcasting: A Q-analysis of divergent stakeholder priorities for future landscapes. *People and Nature*. <https://doi.org/10.1002/pan3.10441>
- Kanger, L., Bone, F., Rotolo, D., Steinmueller, W. E., & Schot, J. (2022). Deep transitions: A mixed methods study of the historical evolution of mass production. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121491. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121491>
- Kaufmann, L. J., & Danner-Schröder, A. (2022). Addressing grand challenges through different forms of organizing: A literature review. En A. A. Gümüşay, E. Marti, H. Trittin-Ulbrich, & C. Wickert (Eds.), *Organizing for Societal grand challenges* (pp. 163-186). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/S0733-558X20220000079014>
- Kaushik, V., & Walsh, C. A. (2019). Pragmatism as a research paradigm and its implications for social work research. *Social Sciences*, 8(9), 255. <https://doi.org/10.3390/socsci8090255>
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. John Wiley and Sons.
- Keeney, R. L. (1992). *Value-focused thinking: A path to creative decision making* (American first, p. 432). Harvard University Press.
- Keeney, R. L. (1996). Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *European Journal of Operational Research*, 92(3), 537-549. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(96\)00004-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(96)00004-5)
- Kishita, Y., Masuda, T., Nakamura, H., & Aoki, K. (2023). Computer-aided scenario design using participatory backcasting: A case study of sustainable vision creation in a Japanese city. *Futures & Foresight Science*, 5(1). <https://doi.org/10.1002/ffo2.141>
- Klerckx, L., Turner, J., & Percy, H. (2022). Navigating the rapids of agrifood systems transformation: Reflections on Aotearoa New Zealand's emerging mission-oriented agrifood innovation system. *New Zealand Economic Papers*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/00779954.2022.2158489>
- Kokotovich, A. E., Kuzma, J., Cummings, C. L., & Grieger, K. (2021). Responsible innovation definitions, practices, and motivations from nanotechnology researchers in food and agriculture. *Nanoethics*, 15(3), 229-243. <https://doi.org/10.1007/s11569-021-00404-9>
- Korosteleva, E. A., & Petrova, I. (2022). What makes communities resilient in times of complexity and change? *Cambridge Review of International Affairs*, 35(2), 137-157. <https://doi.org/10.1080/09557571.2021.2024145>
- Kreibich, R., Oertel, B., & Wolk, M. (2011). Futures studies and future-oriented technology analysis principles, methodology and research questions. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2094215>
- Langlois, R. N., & Everett, M. J. (1994). What is evolutionary economics? En L. Magnusson (Ed.), *Evolutionary and neo-Schumpeterian approaches to economics* (pp. 11-47). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-0-585-35155-1_2

- Larichev, O. I. (1983). Systems analysis and decision making. *An Analysing and aiding decision processes* (vol. 14, pp. 125-144). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62230-X](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62230-X)
- Lee, J., Lee, M.-G., Shih, Y.-F., & Lee, L. (2023). Sustainable development: Emerging trends in energy efficiency, carbon reduction, and green building materials. *Buildings*, 13(3), 735. <https://doi.org/10.3390/buildings13030735>
- Lewin, K. (1946). Action research and minority problems. *Journal of Social Issues*, 2(4), 34-46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1946.tb02295.x>
- Lindner, R., Daimer, S., Beckert, B., Heyen, N., Koehler, J., Teufel, B., Warnke, P., & Wydra, S. (2016a). Addressing directionality: Orientation failure and the systems of innovation heuristic. Towards reflexive governance (Fraunhofer ISI Discussion Papers - Innovation Systems and Policy Analysis No. 52) [Working Paper]. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Lindner, R., Daimer, S., Beckert, B., Heyen, N., Koehler, J., Teufel, B., Warnke, P., & Wydra, S. (2016b). Addressing directionality: Orientation failure and the systems of innovation heuristic. Towards reflexive governance (Fraunhofer ISI Discussion Papers - Innovation Systems and Policy Analysis No. 52) [Working Paper]. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Luhmann, N., Baecker, D., & Gilgen, P. (2013). *Introduction to systems theory*. igi-global.com
- Lundvall, B.-A. (Ed.). (2012). *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning*. Anthem Press. <https://doi.org/10.7135/UPO9781843318903>
- Madsen, S. H. J. (2022). A constructivist approach to the spatial organization of transformative innovation policy. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 42, 340-351. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.01.007>
- Magnusson, L. (Ed.). (1994). *Evolutionary and neo-Schumpeterian approaches to economics*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/b102383>
- Martin, J. N. (2008). Using the PICARD theory of systems. *INSIGHT*, 11(1), 37-41. <https://doi.org/10.1002/inst.200811137>
- Metcalfe, J. S. (2003). Equilibrium and evolutionary foundations of competition and technology policy: New perspectives on the division of labour and the innovation process. *Revista Brasileira de Inovação*, 2(1), 111. <https://doi.org/10.20396/rbi.v2i1.8648870>
- Midgley, G., & Lindhult, E. (2021). A systems perspective on systemic innovation. *Systems Research and Behavioral Science*, 38(5), 635-670. <https://doi.org/10.1002/sres.2819>
- Miedzinski, M., Mcdowall, W., Fahnestock, J., Rataj, O., & Papachristos, G. (2022). Paving The pathways towards sustainable future? A critical assessment of STI policy roadmaps as policy instruments for sustainability transitions. *Futures*, 142, 103015. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.103015>
- Miller, T. R., Wiek, A., Sarewitz, D., Robinson, J., Olsson, L., Kriebel, D., & Loorbach, D. (2014). The future of sustainability science: A solutions-oriented research agenda. *Sustainability Science*, 9(2), 239-246. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0224-6>
- Miser, H. J. (1994). Systems analysis as dialogue: An overview. *Technological Forecasting and Social Change*, 45(3), 299-306. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(94\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0040-1625(94)90052-3)
- Monteiro Moretti, D., Baum, C. M., Ehlers, M.-H., Finger, R., & Bröring, S. (2023). Exploring actors' perceptions of the precision agriculture innovation system - A group concept mapping approach in Germany and Switzerland. *Technological Forecasting and Social Change*, 189, 122270. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122270>
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1985). *An evolutionary theory of economic change* (1st ed., p. 454). Belknap Press: An Imprint of Harvard University Press.
- Nelson, R. R. (1993). *National innovation systems: A comparative analysis* (1st ed., p. 558). Oxford University Press.
- Onwuegbuzie, A. J., Johnson, R. B., & Collins, K. M. (2009). Call for mixed analysis: A philosophical framework for combining qualitative and quantitative approaches. *International Journal of Multiple Research Approaches*, 3(2), 114-139. <https://doi.org/10.5172/mra.3.2.114>
- Opp, K. D. (1994). The evolution of norms: An anthropological view: Comment. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 150(1), 88-92. <https://www.jstor.org/stable/40753019>
- Ormerod, R. (2023). Pragmatism as practice theory: The experience of systems and OR scholars. *Systems Research and Behavioral Science*. <https://doi.org/10.1002/sres.2929>
- Ortt, J. R., & Kamp, L. M. (2022). A technological innovation system framework to formulate niche introduction strategies for companies prior to large-scale diffusion. *Technological Forecasting and Social Change*, 180, 121671. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121671>
- Parks, D. (2022). Directionality in transformative innovation policy: Who is giving directions? *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 43, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.02.005>
- Parodi, O. (2014). *The missing aspect of culture in sustainability concepts*. Routledge.
- Patterson, J., Schulz, K., Vervoort, J., van der Hel, S., Widerberg, O., Adler, C., Hurlbert, M., Anderton, K., Sethi, M., & Barau, A. (2017). Exploring the governance and politics of transformations towards sustainability. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 24, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2016.09.001>
- Patterson, J. J. (2021). Remaking political institutions in sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 41, 64-66. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.10.011>
- Pereverza, K., Pasichnyi, O., & Kordas, O. (2019). Modular participatory backcasting: A unifying framework for strategic planning in the heating sector. *Energy Policy*, 124, 123-134. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.027>
- Prasad, P., Duker, A., de Fraiture, C., & van der Zaag, P. (2023). Irrigation development under uncertainty: A call for adaptive investment pathways. *Environmental Science & Policy*, 140, 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.11.017>
- Prost, L., Martin, G., Ballot, R., Benoit, J.-E., Bockstaller, C., Cerf, M., Deytieu, V., Hossard, L., Jeuffroy, M.-H., Leclère, M., Le Bail, M., Le Gal, P.-Y., Loyce, C., Merot, A., Meynard, J.-M., Mignolet, C., Munier-Jolain, N., Novak, S., ... van der Werf, H. (2023). Key research challenges to supporting farm transitions to agroecology in advanced economies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00855-8>
- Quist, J., Rammelt, C., Overschie, M., & de Werk, G. (2006). Backcasting for sustainability in engineering education: The case of delft university of technology. *Journal of Cleaner Production*, 14(9-11), 868-876. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.032>
- Quist, J., & Vergagt, P. (2006). Past and future of backcasting: The shift to stakeholder participation and a proposal for a methodological framework. *Futures*, 38(9), 1027-1045. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2006.02.010>
- Quist, J. (2007). *Backcasting for a sustainable future: The impact after 10 years* (p. 284). Eburon B V.
- Quist, J. (2013). Backcasting and scenarios for sustainable technology development. En J. Kauffman & K.-M. Lee (Eds.), *Handbook of sustainable engineering* (pp. 749-771). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8939-8_52
- Raiffa, H., & Schlaifer, R. (1961). *Applied statistical decision theory* (1st Edition). Division of Research Graduate School of Business Administration Harvard University.
- Reid, W. V., Chen, D., Goldfarb, L., Hackmann, H., Lee, Y. T., Mokhele, K., Ostrom, E., Raivio, K., Rockström, J., Schellnhuber, H. J., & Whyte, A. (2010). Environment and development. Earth system science for global sustainability: Grand challenges. *Science*, 330(6006), 916-917. <https://doi.org/10.1126/science.1196263>
- Reinhardt, T. (2022). The farm to fork strategy and the digital transformation of the agrifood sector—An assessment from the perspective of innovation systems. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 45(2), 819-838. <https://doi.org/10.1002/aep.13246>
- Renn, O., Klinke, A., & van Asselt, M. (2011). Coping with complexity, uncertainty and ambiguity in risk governance: A synthesis. *Ambio*, 40(2), 231-246. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0134-0>

- Robert, V., & Yoguel, G. (2022). Exploration of trending concepts in innovation policy. *Review of Evolutionary Political Economy*, 3(2), 259-292. <https://doi.org/10.1007/s43253-022-00064-9>
- Robinson, J., Burch, S., Talwar, S., O'Shea, M., & Walsh, M. (2011). Envisioning sustainability: Recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(5), 756-768. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.12.006>
- Rohracher, H., Coenen, L., & Kordas, O. (2023). Mission incomplete: Layered practices of monitoring and evaluation in Swedish transformative innovation policy. *Science and Public Policy*, 50(2), 336-349. <https://doi.org/10.1093/scipol/scac071>
- Ropohl, G. (1999). Philosophy of socio-technical systems. *Society for Philosophy and Technology Quarterly Electronic Journal*, 4(3), 186-194. <https://doi.org/10.5840/techne19994311>
- Ross, A., & Chang, H. (2020). Socio-hydrology with hydrosocial theory: Two sides of the same coin? *Hydrological Sciences Journal*, 65(9), 1443-1457. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1761023>
- Roubelat, F. (2000). Scenario planning as a networking process. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 99-112. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00125-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00125-0)
- Russo, F. (2010). Arecausal analysis and system analysis compatible approaches? *International Studies in the Philosophy of Science*, 24(1), 67-90. <https://doi.org/10.1080/02698590903467127>
- Savaget, P., Geissdoerfer, M., Kharrazi, A., & Evans, S. (2019). The theoretical foundations of sociotechnical systems change for sustainability: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 206, 878-892. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.208>
- Saviano, M., Barile, S., Farioli, F., & Orecchini, F. (2019). Strengthening the science-policy-industry interface for progressing toward sustainability: A systems thinking view. *Sustainability Science*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00668-x>
- Schaal, T., Mitchell, M., Scheele, B. C., Ryan, P., & Hanspach, J. (2023). Using the three horizons approach to explore pathways towards positive futures for agricultural landscapes with rich biodiversity. *Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01275-z>
- Schlaile, M., Urmetzer, S., Blok, V., Andersen, A., Timmermans, J., Mueller, M., Fagerberg, J., & Pyka, A. (2017). Innovation systems for transformations towards sustainability? Taking the normative dimension seriously. *Sustainability*, 9(12), 2253. <https://doi.org/10.3390/su9122253>
- Schlaile, M. P., Kask, J., Brewer, J., Bogner, K., Urmetzer, S., & De Witt, A. (2022). Proposing a cultural evolutionary perspective for dedicated innovation systems: Bioeconomy transitions and beyond | Cairn.info. *Journal of Innovation Economics Management*, (38), 93-111. <https://www.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2022-2-page-93.htm>
- Schumpeter, J. (1934). *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle* (p. 267). Harvard University Press.
- Schumpeter, J. (1939). *Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process* (1st edition). McGraw-Hill Book Company.
- Shannon, G., Issa, R., Wood, C., & Kelman, I. (2022). Regenerative economics for planetary health: A scoping review. *International Health Trends and Perspectives*, 2(3), 81-105. <https://doi.org/10.32920/ihtp.v2i3.1704>
- Shively, W. P. (2017). *The craft of political research* (10th ed., p. 202). Routledge.
- Sisto, R., Fernández-Portillo, L. A., Yazdani, M., Estepa-Mohedano, L., & Torkayesh, A. E. (2022). Strategic planning of rural areas: Integrating participatory backcasting and multiple criteria decision analysis tools. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101248. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101248>
- Slaughter, R. A. (2002). What is strategic foresight? [Technical Report]. Das AMS Österreich, Abt. Arbeitsmarktforschung und Berufsinformation.
- Smits, R., Kuhlmann, S., & Shapira, P. (2010). *The theory and practice of innovation policy*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781849804424>
- Soete, L., Verspagen, B., & ter Weel, B. (2010). Systems of innovation. En *Handbook of the economics of innovation* (vol. 2, pp. 1159-1180). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02011-3](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02011-3)
- Spielman, D. (2006). A critique of innovation systems perspectives on agricultural research in developing countries. (Innovation Strategy Today 2(1), pp. 41-54) [Working or Discussion Paper]. bioDevelopments International Institute.
- Suominen, A., Deschryvere, M., & Narayan, R. (2023). Uncovering value through exploration of barriers - A perspective on intellectual property rights in a national innovation system. *Technovation*, 123, 102719. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102719>
- Svennevik, E. M. C. (2022). Practices in transitions: Review, reflections, and research directions for a practice innovation system PIS approach. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 44, 163-184. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.06.006>
- Terentiev, A. (2018). System analysis as a method of decision making. *Public Management*, 15(5). <https://doi.org/10.32689/2617-2224-2018-15-5-246-255>
- Toffanin, R., & von Gesseneck, M. (2021). Implementing systemic innovation strategies for a more sustainable future: The case of three overseas countries and territories. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 6, 801789. <https://doi.org/10.3389/frma.2021.801789>
- Toillier, A., Mathé, S., Saley Moussa, A., & Faure, G. (2022). How to assess agricultural innovation systems in a transformation perspective: A Delphi consensus study. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 28(2), 163-185. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2021.1953548>
- Tömmel, I. (1992). Decentralisation of regional development policies in the Netherlands - A new type of state intervention? *West European Politics*, 15(2), 107-125. <https://doi.org/10.1080/01402389208424909>
- Ulrich, W. (1988). Systems thinking, systems practice, and practical philosophy: A program of research. *Systems Practice*, 1(2), 137-163. <https://doi.org/10.1007/BF01059855>
- Ulrich, W. (1993). Some difficulties of ecological thinking, considered from a critical systems perspective: A plea for critical holism. *Systems Practice*, 6(6), 583-611. <https://doi.org/10.1007/BF01059480>
- Urmetzer, S., Schlaile, M., Bogner, K., Mueller, M., & Pyka, A. (2018). Exploring the dedicated knowledge base of a transformation towards a sustainable bioeconomy. *Sustainability*, 10(6), 1694. <https://doi.org/10.3390/su10061694>
- van Dijk, J. A. G. M. (2012). *The network society* (Third, p. 336). SAGE Publications Ltd.
- van Griethuysen, P. (2002). Sustainable development: An evolutionary economic approach. *Sustainable Development*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1002/sd.175>
- Vergragt, P. J., & Quist, J. (2011). Backcasting for sustainability: Introduction to the special issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(5), 747-755. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.010>
- von Bertalanffy, L. (1934). Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeit des Wachstums: I. Teil: Allgemeine Grundlagen der Theorie; Mathematische und physiologische Gesetzmäßigkeiten des Wachstums bei Wassertieren. *Wilhelm Roux' Archiv Für Entwicklungsmechanik Der Organismen*, 131(4), 613-652. <https://doi.org/10.1007/BF00650112>
- Waring, T. M., Kline, M. A., Brooks, J. S., Goff, S. H., Gowdy, J., Janssen, M. A., Smaldino, P. E., & Jacquet, J. (2015). A multilevel evolutionary framework for sustainability analysis. *Ecology & Society*, 20(2). <https://doi.org/10.5751/ES-07634-200234>
- Waring, T. M. (2016). An evolutionary approach to sustainability science. *Clodynamics: The Journal of Quantitative History and Cultural Evolution*, 7(1). <https://doi.org/10.21237/C7CLIO7131139>
- WBGU. (2011). *World in transition* (W. B. Der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Germany), Ed.). German Advisory Council On Global Change.
- Wesseling, J., & Meijerhof, N. (2021). *Developing and applying the mission-oriented innovation systems (MIS) approach* [Preprint]. SocArXiv Papers.
- Whitney, C., Biber-Freudenberger, L., & Luedeling, E. (2023). Decision analytical methods for assessing the efficacy of agroecology interventions. *CABI Agriculture and Bioscience*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s43170-023-00151-9>

- Wiek, A., & Iwaniec, D. (2014). Quality criteria for visions and visioning in sustainability science. *Sustainability Science*, 9(4), 497-512. <https://doi.org/10.1007/s11625-013-0208-6>
- Wise, E., Eklund, M., Smith, M., & Wilson, J. (2022). A participatory approach to tracking system transformation in clusters and innovation ecosystems—Evolving practice in Sweden's Vinnväxt programme. *Research Evaluation*, 31(2), 271-287. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvac006>
- Wuketits, F. M. (1993). Moral systems as evolutionary systems: Taking evolutionary ethics seriously. *Journal of Social and Evolutionary Systems*, 16(3), 251-271. [https://doi.org/10.1016/1061-7361\(93\)90035-P](https://doi.org/10.1016/1061-7361(93)90035-P)
- Yap, C. (2022). New geographical directions for food systems governance research. *Progress in Human Geography*, 030913252211338. <https://doi.org/10.1177/03091325221133808>
- Yuskevich, I., Hein, A. M., Amokrane-Ferka, K., Doufene, A., & Jankovic, M. (2021). A metamodel of an informational structure for model-based technology roadmapping. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121103. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121103>
- Ziegler, R., & Porto-de-Oliveira, L.-C. (2022). Backcasting for sustainability - An approach to education for sustainable development in management. *The International Journal of Management Education*, 20(3), 100701. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2022.100701>
- Zionts, S. (1979). MCDM—If not a Roman numeral, then what? *Interfaces*, 9(4), 94-101. <https://doi.org/10.1287/inte.9.4.94>