



SUMA DE NEGOCIOS



Artículo de revisión

La búsqueda activa de soluciones para los problemas de los sistemas agrícolas: una visión desde análisis de decisiones

Óscar Burbano-Figueroa¹  Milena Arias-Robles²  Janeth Alexandra Sierra-Monroy³ 
Adriana David-Hinestroza⁴ 

¹ Doctor en Ciencias Agrarias-Desarrollo. Investigador del Centro de Investigación Turipaná, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Cereté, Córdoba, Colombia (autor de correspondencia). Correo electrónico: burbano.figueroa1@gmail.com; oburbano@agrosavia.co

² Doctor en Tecnología Agroambiental para una Agricultura Sostenible. Coordinador de Innovación Regional de la sede El Carmen de Bolívar, Centro de Investigación Turipaná, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), El Carmen de Bolívar, Bolívar, Colombia. Correo electrónico: mearias@agrosavia.co; mile.ariasrobles@gmail.com

³ Magíster en Ciencias Agrarias-Protección de Cultivos. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Ibagué, Tolima, Colombia. Correo electrónico: jaalexandrasierramonroy@gmail.com

⁴ Magíster en Sistemas de Producción Animal. Investigador del Centro de Investigación Turipaná, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Cereté, Córdoba, Colombia. Correo electrónico: adavid@agrosavia.co

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 21 de marzo de 2022

Aceptado el 23 de mayo de 2022

Online el 6 de junio de 2022

Códigos JEL:

Q55, O13, B410, C63

Palabras clave:

Toma de decisiones, horizontes de planificación estratégica, Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, Sistemas Agrícolas Sostenibles.

RESUMEN

Introducción/objetivo: Hoy en día la sociedad requiere de los sistemas agrícolas, no solo del aprovisionamiento de bienes, sino también de la prestación de servicios ambientales y sociales. Esta transformación es compleja ya que requiere implementar acciones en un sistema de muchas variables y bajo condiciones de riesgo e incertidumbre que no garantizan los beneficios de las acciones. Este artículo de perspectiva describe la aplicación del Análisis de Decisiones (AD) en tales escenarios de decisión de los sistemas agrícolas.

Metodología: El trabajo presenta un protocolo general para la implementación de AD y desarrolla una perspectiva espacio-temporal para la aplicación de AD en los sistemas agrícolas usando conceptos extraídos de las áreas de la Teoría de Decisiones y planificación estratégica, e introduce un estudio de caso para mostrar cómo esta perspectiva puede ser introducida en los sistemas de innovación del sector agrícola.

Resultados: Los problemas de los sistemas agrícolas pueden describirse como una tipología de modelos de decisión usando escalas de planificación estratégica. Esta perspectiva tiene el potencial de permitir la aplicación de AD en los esfuerzos de planificación del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) de Colombia, especialmente en la implementación de los Sistemas Territoriales de Innovación (STI).

Conclusión: Este artículo presenta una perspectiva extendida de AD orientada a proveer una base conceptual para su aplicación en la búsqueda de soluciones en el contexto de complejidad de los sistemas agrícolas, en la planificación de las actividades de ciencia, tecnología e innovación en el sector agrícola, y para apoyar el proceso transformación hacia la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

An active search for solutions in agricultural systems: A decision analysis perspective

ABSTRACT

Keywords:

Decision Analysis, Decision-making, strategic planning horizons, Colombian National System for Agricultural Innovation, agricultural systems, Sustainable Agricultural Systems.

Introduction/Objective: Nowadays society demands from agricultural systems not only the provision of goods for the market but also environmental and social services. This transformation is a challenge due to the unpredictability of executing actions in a complex system with no certainty that it will lead to the desired outcome. This perspective paper describes the application of Decision Analysis (DA) for such uncertain scenarios of decision-making in agricultural systems.

Methodology: This paper describes a general protocol for the implementation of DA, proposes a temporal-spatial framework for the application of DA in agricultural systems using concepts of Decision Theory and strategic planning, and introduces a case study for describing how this framework can be applied to agricultural innovation systems.

Results: Problems in agricultural systems can be outlined as decision analysis models of specific spatial-temporal scale (planning horizons). This framework has potential for the application of DA in the planning efforts of the Colombian National Agricultural Innovation System, but especially in the implementation of Regional Innovation Systems.

Conclusions: We provided an extended DA framework aimed to constitute a sound basis for finding solutions in the complex setting of agricultural systems, for planning actions of science, technology and innovation and for supporting the decision making process of sustainability transformation of agricultural systems.

Introducción

El uso de la tierra dominante es la agricultura que cubre aproximadamente la mitad de la superficie habitable del planeta (Ritchie & Roser, 2013). El cultivo de la tierra incluye todas las acciones antrópicas que transforman el medio ambiente natural para la consecución y aprovisionamiento al mercado de alimentos, fibras, pigmentos, biocombustibles y fármacos. La agricultura como ciencia y tecnología incluye todo el conocimiento y prácticas relacionadas con la producción de cultivos y la crianza de animales; desde una perspectiva sistémica cubre todos los aspectos técnicos, económicos sociales y políticos relacionados con estas actividades (Dixon et al., 2001; Drinkwater et al., 2016; McConnell & Dillon, 1997). El contexto de espacio y tiempo en el que se desarrollan estas acciones se denomina *sistemas agrícolas* (Power, 2010). Para este documento, este sistema enmarca cultivos industriales y de subsistencia, praderas y producción de animales, y las cadenas de valor asociadas al procesamiento de productos originados en estos modelos de producción.

En la época geológica actual, el Antropoceno, los humanos son la fuerza primaria que define los ecosistemas de la Tierra. El hombre ha creado un amplio espectro de ecosistemas antropogénicos, o antromas, desde ciudades y sistemas altamente intervenidos de agricultura industrial hasta remanentes de ecosistemas naturales en los que los humanos actúan en autoridad legal como sus protectores (Rivera-Ferre et al., 2013). Hoy en día, en un esfuerzo por mitigar el impacto del ser humano sobre la Tierra, la sociedad demanda de la agricultura no solo la producción de bienes,

sino la generación de servicios ecosistémicos y sociales. En este cambio de prioridades, los sistemas agrícolas dejaron de ser pensados como sistemas de producción con una única función a ser concebidos como sistemas multifuncionales en capacidad de promover la sostenibilidad económica, ambiental y social. En este contexto, los productores agrícolas no son agentes externos que explotan los sistemas agrícolas sino elementos de estos sistemas (Power, 2010; Rivera-Ferre et al., 2013). La figura 1 provee ejemplos de este espectro de intervención por parte del hombre y el potencial de proveer beneficios económicos, servicios ambientales y sociales relacionados con estos ecosistemas. En el Antropoceno, los sistemas agrícolas son considerados sistemas socioecológicos solo distinguibles de los ecosistemas naturales por el nivel de intervención, y ambos son considerados antromas de los ecosistemas terrestres.

La transformación de los sistemas agrícolas de su rol único de producción de bienes económicos a uno multifuncional que incluye la prestación de servicios ambientales y sociales requiere mucho más que transferencia de oferta tecnológica. Esta transformación requiere una escala de innovación que solo es posible alcanzar por acumulación de conocimiento de los actores tanto a nivel individual como colectivo y con las condiciones habilitantes de mercado y gobierno (Klerkx et al., 2012; Seifu et al., 2022). Existen múltiples incertidumbres en este proceso de transformación, incluyendo determinar cómo los agricultores responden a los cambios tecnológicos, o cuáles son los factores externos o fuentes de riesgo que limitan la eficiencia de las unidades de producción y la provisión de un sustento adecuado para los productores rurales. Esta incertidumbre y la cantidad de variables (complejidad) que describen los sistemas agrícolas

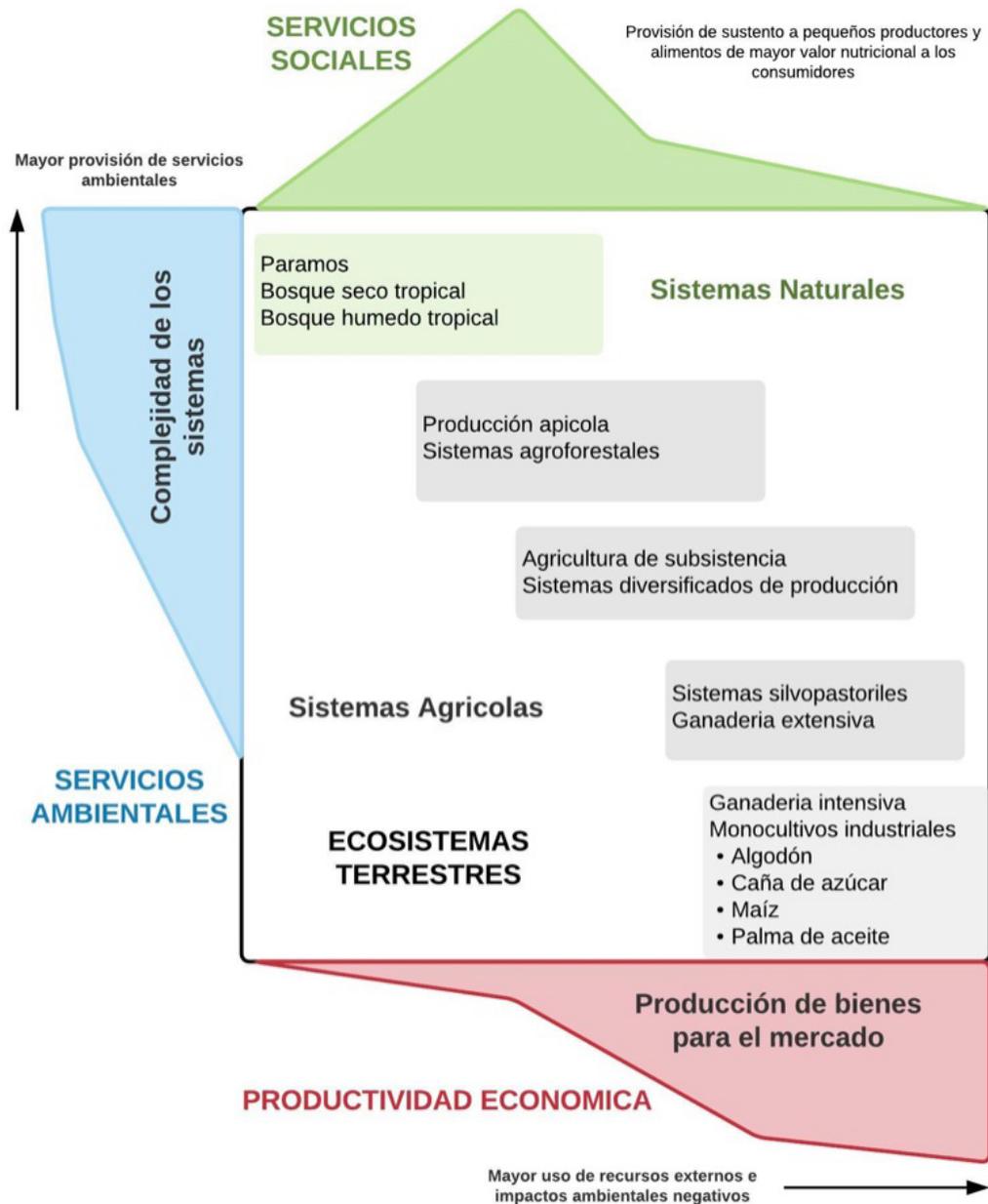


Figura 1. Representación esquemática de la provisión de bienes y servicios por los ecosistemas terrestres del neotrópico
Fuente: elaboración propia.

obliga a los tomadores de decisiones a actuar con escasa certeza de cuáles acciones son correctas en el propósito de generar cambios positivos significativos en los sistemas productivos (Lahnamäki-Kivelä, 2022; Luedeling & Shepherd, 2016; Sisto et al., 2022).

Una visión normativa¹ y lógica de aplicación transdisciplinar que permite introducir la incertidumbre y el riesgo

asociado a la implementación de acciones y capturar la complejidad de los problemas a diferentes escalas de los sistemas agrícolas es el Análisis de Decisiones (AD) (Anderson, 2003; Anderson et al., 1977; Bell et al., 1989; Luedeling & Shepherd, 2016). Un tomador de decisiones en el sector agrícola (desde un pequeño agricultor hasta un consultor científico o de políticas públicas al servicio del Ministerio de Agricultura) enfrenta situaciones del mundo en que los beneficios de la adopción de oferta tecnológica, apropiación

1 Existen tres escuelas o perspectivas para la toma de decisiones: normativa, descriptiva y prescriptiva. La escuela normativa tiene como propósito crear metodologías y una perspectiva teórica para apoyar un proceso racional de toma de decisiones. Un proceso racional permite al tomador de decisiones alcanzar el resultado más deseable y maximizar sus beneficios. La escuela descriptiva está enfocada en describir cómo los humanos toman

decisiones, mientras la escuela prescriptiva está enfocada en proveer recomendaciones de cursos de acción validados con alta probabilidad de llevar a obtener el resultado deseado. Este último es el caso de las prescripciones médicas (Bell et al., 1989).

de tácticas o estrategias de manejo, o intervenciones en el sistema productivo son inciertos. El AD también puede ser usado durante la fase de desarrollo de ofertas tecnológicas incrementando las oportunidades de su adopción. En este contexto, el AD permite estimar en escenarios dudosos cuáles son las opciones con mayores beneficios potenciales, o cuáles son las brechas de conocimiento que limitan la aplicación de una opción seleccionada (Anderson et al., 1977; Raiffa & Schlaifer, 1961). Cuando el AD es concebido desde la perspectiva de la Teoría de Sistemas, ofrece la posibilidad de conectar resultados de investigación experimental (campo o laboratorio) obtenidos en diferentes épocas o por diferentes grupos de investigación y extender esta visión global de conocimiento a aplicaciones potenciales en el contexto socioeconómico de los actuales sistemas productivos.

En este contexto, este artículo presenta los fundamentos del AD, en combinación con una visión de planificación estratégica que evaluar incorporar problemas de diferentes escalas en los sistemas agrícolas. A modo de estudio de caso también incluye una breve discusión de cómo el AD podría ser usado en el esquema actual de política pública de ciencia e investigación dedicada a los sistemas de producción en Colombia.

Metodología

Existen varios enfoques para la implementación del AD, pero las ideas expuestas en este artículo están basadas en los conceptos de Agricultural Decision Analysis (ADA) (Anderson et al., 1977) y Applied Information Economics (AIE) (Hubbard, 2014). Hubbard (2014) introdujo la calibración de expertos durante el proceso de recolección de datos que permite la estimación de curvas de distribución de probabilidad para las variables de entrada y la posterior implementación de simulaciones Montecarlo durante la proyección de los beneficios de las acciones en consideración. Anderson et al. (1977) presentó una serie de tipologías para los problemas de decisión más comunes en el sector: inversiones a largo plazo, funciones de producción bajo incertidumbre y producción diversificada.

Este trabajo extiende la tipología de problemas de decisión de Anderson et al. (1977) a una visión de planificación estratégica extraída del área de operaciones unitarias y logísticas. Esta implementación permite crear una descripción jerárquica de la escala de los problemas de decisión, incorporar horizontes de planificación estratégica en la conceptualización de los problemas de decisión y definir el responsable(s) en la toma de decisiones (Conway, 1984; Lum, 2015; Rabbinge et al., 1993; Webb, 2019). Trabajos previos en el control de plagas y enfermedades en salud pública y protección vegetal (Conway, 1984; Rabbinge et al., 1993) habían presentado tales horizontes de planificación estratégica, pero sin incorporar tal marco estructural en el análisis formal de toma de decisiones. Los horizontes de planificación estratégica descritos no están limitados a la escala temporal sino también espacial, lo que permite acomodar una escala jerárquica para las decisiones tomadas por los gobiernos. La escala de decisiones a nivel de políticas públicas tiene implicaciones espaciales (país o región) que rara vez son alcanzadas por las decisiones de individuos o instituciones privadas.

Este artículo de perspectiva está estructurado de la siguiente manera:

1. Explicación de análisis de decisiones.
2. Descripción del protocolo de implementación de AD en los sistemas agrícolas.
3. Tipología de los problemas que pueden ser abordados por AD siguiendo un modelo de planificación estratégica².
 - a. Políticas públicas y regulaciones.
 - b. Decisiones estratégicas.
 - i. Decisiones de inversión.
 - ii. Decisiones de planificación y operación de las unidades de producción.
 - iii. Decisiones de producción bajo riesgo.
4. Perspectiva de aplicación del Análisis de Decisiones en planificación estratégica para el sector público dedicado a la investigación en el sector agrícola, usando como estudio de caso el Sistema Nacional de Innovación Agrícola (SNIA) de Colombia.

Toma de decisiones bajo incertidumbre

El Análisis de Decisiones (AD) es también conocido como toma de decisiones bajo riesgo o incertidumbre, teoría de decisiones bernoulliana o bayesiana, o simplemente teoría de decisiones. El objetivo del AD es identificar un curso de acción (que puede o no incluir la colección de información adicional), que es lógicamente consistente con las preferencias, beneficios esperados y probabilidades de ocurrencia, asignadas por el tomador de decisiones (y otros actores involucrados en el caso de decisiones con múltiples beneficiarios o afectados). Aun bajo condiciones de incertidumbre en el universo del tomador de decisiones se puede desarrollar un modelo matemático en el que es posible recolectar información adicional (Aleem et al., 2008; Anderson et al., 1977; Hubbard & Millar, 2014; Luedeling et al., 2014; Raiffa & Schlaifer, 1961).

Los elementos básicos de un problema de decisión son:

1. Una acción o un conjunto de acciones específicas que el tomador de decisiones está interesado en evaluar.
2. Un modelo lógico y causal que representa el problema de decisión o sistema³, especialmente los factores que influyen en el sistema y los componentes del sistema que van a cambiar con la implementación de las acciones en consideración.

2 En logística e investigación de operaciones, un modelo de planificación estratégica está descrito por horizontes temporales. Para nuestro caso particular este modelo también contiene propiedades espaciales (dominio espacial). En el caso de las políticas públicas, por ejemplo, estas no solo tienen horizontes de décadas, sino que ejercen efecto sobre un país o una región.

3 Un sistema es un conjunto congruente de acciones, las cuales combinadas permiten obtener un resultado predeterminado a través de un conjunto de elementos que incluye energía, componentes, organización, estructura y proceso (Anderson, 1992; De Jesús Pérez, 2020).

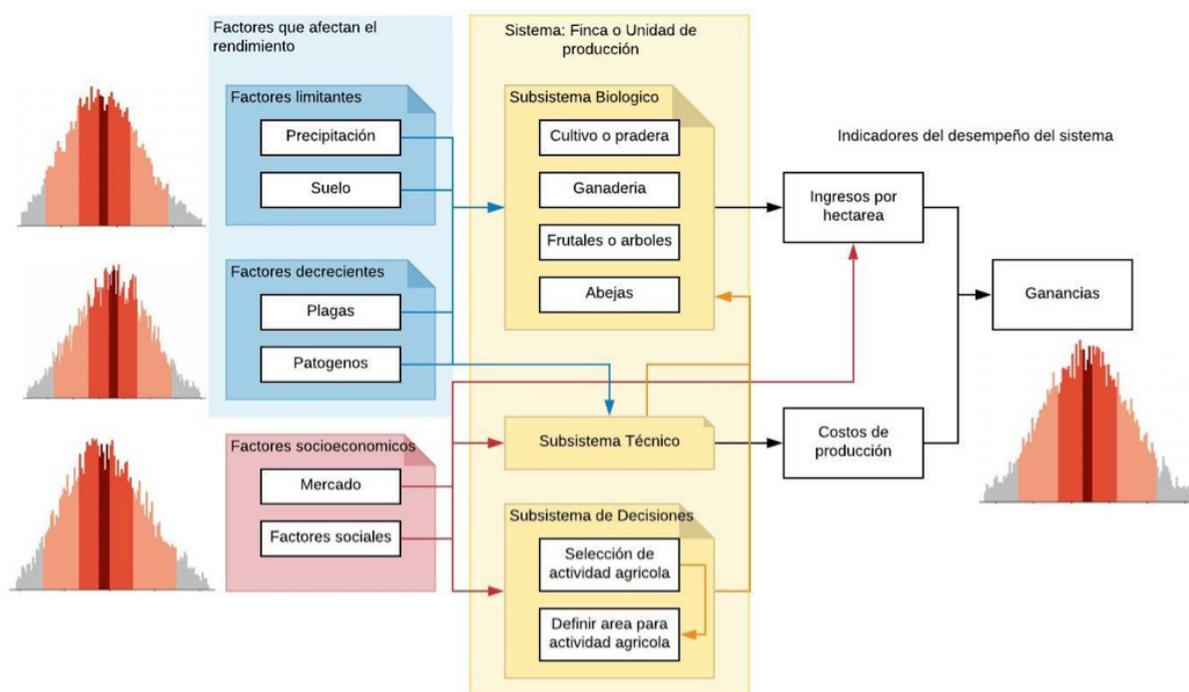


Figura 2. Esquema de modelo conceptual o ruta de impacto usado para representar problemas de decisión a escala de finca con factores y componentes de distribuciones continuas

Fuente: elaboración propia.

Los cambios en los factores del sistema se conocen como los estados del mundo o universo del tomador de decisiones (también llamados estados de la naturaleza o escenarios). Estos estados del mundo no pueden ser predichos con certidumbre.

3. Un conjunto de datos (experimentales o empíricos) que describe el espacio o rango de estados que puede asumir cada factor o componente del sistema. El tomador de decisiones puede obtener información adicional (desarrollar experimentos o recolectar más datos) con el propósito de reducir la incertidumbre relacionada con el rango de estados (reducir la brecha de conocimiento).
4. Una evaluación de utilidad para la brecha de conocimiento que se decida reducir para una acción en particular. Esta evaluación tiene consecuencias monetarias y probablemente otro tipo de consecuencias.
5. La probabilidad de ocurrencia de los resultados esperados o consecuencias monetarias de las acciones a implementar (Anderson, 1992; Anderson et al., 1977; De Jesús Pérez, 2020; Hubbard, 2014; Raiffa & Schlaifer, 1961).

Los problemas de decisión son representados como árboles de decisiones cuando el análisis del problema involucra una secuencia de acciones discretas a seleccionar (incluyendo la colección de información adicional), siendo la representación más común para decisiones de manejo binarias o condicionales (Anderson et al., 1977). Si las variables de estado tienen una distribución continua, la representación

más conveniente de un problema de este tipo es un modelo conceptual o de ruta de impactos⁴ (figura 2). Esta representación será transformada después a ecuaciones matemáticas que son alimentadas con probabilidades de distribución que representan el rango de los estados para los factores del sistema en consideración (Anderson et al., 1977; Hubbard, 2014). En algunos casos, el problema de decisión requiere el uso de modelos mixtos en capacidad de procesar datos continuos (modelos cuantitativos) y de secuencia (datos cualitativos) (Liman Harou et al., 2021).

¿Cómo implementar el Análisis de Decisiones?

El desarrollo de modelos de decisión requiere obtener información cualitativa y cuantitativa que describa el sistema a analizar con la participación de los actores involucrados. Este proceso de adquirir la información puede llevarse a cabo a través de grupos focales, entrevistas semiestructuradas, entrevistas con expertos, recolección de artículos científicos, información secundaria y literatura gris. El concepto *información secundaria* incluye los documentos que sintetizan información publicada en documentos científicos (revisiones sistemáticas de literatura) y a los que sintetizan todos los documentos disponibles incluyendo literatura gris (mapeos sistemáticos) (Ampatzoglou et al., 2019; Felizardo et al.,

⁴ También llamado árbol de problemas o teoría del cambio. Los modelos conceptuales creados desde una visión de la teoría de sistemas son la versión más formal de este tipo de representaciones, que separan claramente los componentes del sistema de las relaciones entre los componentes y facilitan el proceso posterior de transformar la representación visual del problema en ecuaciones matemáticas.

2020; Garousi et al., 2019). La literatura gris hace referencia a toda la literatura disponible que no ha sido publicada o que no puede ser publicada en revistas científicas. Esta literatura gris incluye los reportes técnicos producidos por las instituciones de investigación o empresas privadas, y los documentos gubernamentales que describen políticas (Adams et al., 2016; Kamei et al., 2021).

Los pasos básicos en el desarrollo de un modelo de decisión son:

1. Desarrollo del modelo conceptual del sistema. El equipo de modelación se reúne con todos los actores involucrados por primera vez y juntos definen claramente el problema de decisión a modelar. Una vez el problema está definido es posible iniciar el desarrollo del modelo (o *ruta de impacto*) que representará el sistema en el que se desarrollarán las acciones a evaluar. Una formulación siguiendo una visión sistemática para la construcción de un modelo conceptual tiene los siguientes pasos:
 - b. Análisis estructural para identificar los límites del sistema, subsistema, componentes, factores que afectan el sistema y los indicadores para evaluar el desempeño del sistema.
 - c. Análisis funcional para identificar la relación entre componentes del sistema y los factores e indicadores de desempeño.
 - d. Análisis dinámico para describir cómo el sistema, los subsistemas y los componentes principales se comportan en el tiempo y verificar si los modelos conceptuales estructurales y funcionales representan adecuadamente la dinámica del sistema. Los problemas de escala regional o de política pública requieren la identificación de los escenarios de decisión mediante el análisis de las escalas espacio-temporales.
 - e. Análisis de consistencia para asegurar que el modelo conceptual como representación del conocimiento corresponde con la realidad. Este último paso es un proceso iterativo que se aplica regularmente durante los primeros tres pasos con la participación de expertos en conocimiento (Lamanda et al., 2012).
2. Construcción del modelo probabilístico.
 - c. Transformación del modelo conceptual en ecuaciones matemáticas. La representación del sistema que es desarrollado en el primer paso es convertida a un modelo matemático por el equipo de modelación.
 - d. Obtención de datos cuantitativos y calibración de expertos. Una vez todas las variables han sido especificadas es necesario que los expertos provean de aproximaciones cuantitativas para todas las variables del modelo, especialmente, costos, beneficios y riesgos que puedan presentarse en el desarrollo de las acciones o intervenciones a evaluar.
- e. Los expertos que van a proveer estos datos son invitados a participar en un entrenamiento de calibración. Este entrenamiento tiene como propósito explicar los conceptos básicos de probabilidad e instruir a los expertos en técnicas que les permitan producir estimados más precisos de los intervalos de confianza para las variables incluidas en el sistema.
- e. El protocolo de entrenamiento está basado en resultados de investigaciones relacionadas con el sesgo cognitivo que han mostrado su efecto en la mejora de la capacidad de eliminar el sesgo por exceso de confianza (Hubbard & Millar, 2014; Luedeling et al., 2014, 2015; Luedeling & De Leeuw, 2014; Yigzaw et al., 2019). Las distribuciones de probabilidad subjetiva resultante representan explícitamente la incertidumbre como probabilidades de eventos o estados de la naturaleza (los estados del tomador de decisiones) (Anderson et al., 1977).
- f. El modelo y los insumos son validados adicionalmente por expertos externos al grupo que trabajó en la creación de la representación del sistema. El modelo es actualizado hasta que es considerado que plasma adecuadamente la realidad y puede suministrar información precisa para tomar una decisión.
3. Análisis de los resultados presentados por el modelo de decisión. Una vez el modelo ha sido terminado las simulaciones pueden ser ejecutadas para las alternativas de decisión en evaluación. La simulación entregará los beneficios potenciales (usualmente económicos) de estas opciones, y a partir de su comparación es posible identificar la mejor alternativa (aquella que provee los mayores beneficios). Sin embargo, tomar una decisión con considerables niveles de incertidumbre puede conducir a recomendaciones subóptimas y costosas consecuencias no deseadas (Tuffaha, 2020). En este punto es necesario introducir un concepto llamado Valor de la Información (VdI). El VdI es la máxima cantidad de dinero que el tomador de decisiones estaría dispuesto a pagar para reducir la incertidumbre de escoger entre dos alternativas o cursos de acción. Este valor permite identificar dónde se encuentran las mayores brechas de conocimiento en que los recursos de investigación deben ser priorizados (Keisler et al., 2014; Raiffa & Schlaifer, 1961). Obteniendo esta nueva información es posible correr nuevamente el modelo. Este proceso iterativo puede repetirse hasta que los expertos involucrados estén satisfechos con los resultados producidos por el modelo, o hasta que el VdI sea igual a cero, es decir que más información no va a modificar la decisión de seleccionar un curso específico de acción (aunque existe una razón adicional para detener

este proceso, haber agotado los recursos destinados a evaluar el problema de decisión).

Cuando las alternativas o cursos de acción son evaluados por más de un resultado o beneficio (criterios u objetivos) es necesario extender el modelo de decisión antes presentado e incluir un modelo de preferencias (Zionts, 1979)⁵. Los modelos de preferencia tienen el propósito de representar los valores o preferencias de los tomadores de decisiones (equivalencias o compensaciones) y la tolerancia al riesgo de las consecuencias a evaluar. Los modelos de preferencia son alimentados con los resultados que provienen del modelo de decisión (Keeney & Raiffa, 1976; Von Neumann & Morgenstern, 2007). En el caso de los sistemas de producción agrícolas el criterio de evaluación no está limitado exclusivamente a los beneficios económicos, sino que incluye la evaluación del impacto ambiental y social. Los indicadores de valor de estos tres criterios son los que serán usados para identificar los sistemas de producción agrícola eficiente, aquellos económicamente viables, ambientalmente sostenibles y en capacidad de ofrecer sustento digno a los productores.

¿Qué tipo de problemas del sector agrícola pueden ser abordados por el Análisis de Decisiones?

En teoría, cualquier problema de decisión puede ser abordado por un análisis formal del AD. Sin embargo, no todos los problemas tienen implicaciones económicas, ambientales o socioculturales de tal valor que ameriten desarrollar un análisis formal. Pero entonces, ¿qué tipo de decisiones del sector agrícola merecen ser objeto de AD?

En primer lugar, las decisiones que enfrentamos pueden ser clasificadas en dos tipos: aquellas que se toman una sola vez y aquellas que son repetitivas o recurrentes. Las que se toman una sola vez representan decisiones importantes que comprometen una cantidad considerable de recursos, justificando su análisis formal. Estas se denominan decisiones de inversión cuyo efecto es notorio en la sociedad en el tiempo. Las decisiones repetitivas no implican compromisos importantes de recursos y solo merecen ser consideradas en un análisis formal cuando incrementan de manera notable la eficiencia en el desarrollo de un servicio o proceso. En las repetitivas existe la oportunidad de aprender y usar ese conocimiento para mejorar el procedimiento del siguiente ciclo en el que surja la necesidad de volver a decidir sobre la misma situación (Anderson et al., 1977; Gregory et al., 2012; Hardaker et al., 2015). En el caso del sector público, las acciones, políticas públicas o regulaciones, se suelen tomar una vez o darse en amplios periodos de tiempo en diferentes escalas geográficas (gobierno federal o nacional, gobiernos de los estados⁶, o gobiernos locales o municipales) provocando

en el territorio efectos inciertos de mediano y largo plazo. Las decisiones de políticas públicas pueden incluir las de inversión o pueden sugerir un curso de inversiones preferidas para el mejoramiento de la calidad de vida de la población (Whitney et al., 2017).

Además, las decisiones en el sector agrícola y de desarrollo rural pueden clasificarse usando horizontes de planificación estratégica. Estos horizontes son escalas espacio-temporales que definen el escenario donde las acciones y los efectos de las acciones de una decisión tomarán lugar (la representación dimensional del sistema o problema de decisión). Las de políticas públicas y regulaciones son las de mayor efecto temporal y espacial, seguidas por las estratégicas, tácticas y operacionales (Burbano-Figueroa et al., 2021; Conway, 1984; Lum, 2015; Rabbinge et al., 1993; Webb, 2019). Las decisiones estratégicas presentan una escala temporal de años, las tácticas afectan semanas y las operacionales corresponden a días. De estas solo las estratégicas merecen ser analizadas formalmente considerando los potenciales beneficios de escoger un curso de acción adecuado. Siguiendo la jerarquía de horizontes de planificación, las estrategias pueden clasificarse así:

- Decisiones de inversión pública, privada o público-privada. Estas son la única clase de decisión estratégica que no exhibe recurrencia en el tiempo y son las decisiones analizadas formalmente de mayor importancia. Aquí están incluidas acciones del gobierno como la construcción de distritos de riego o centros de acopio; o en el caso de acciones de privados, la compra de fincas, lotes de maquinaria o unidades de producción. Aquí también es necesario incluir un caso particular de sistema de producción que es analizado como una decisión de inversión, el establecimiento de sistemas de producción de cultivos perennes. En este caso, durante el establecimiento del cultivo es necesario invertir una cantidad considerable de dinero que se espera recuperar en el curso de las siguientes décadas. El análisis de tales casos requiere cálculos del valor presente neto que reflejan el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente (Anderson et al., 1977; Bogdanovi & Hadži, 2019; Hardaker et al., 2015). Un ejemplo representativo de este tipo de aplicación de AD en problemas del sector agrícola es la evaluación de adopción de sistemas agroforestales en Vietnam (Do et al., 2020).
- Decisiones de planificación y operación de la finca. Estos modelos de AD representan la operación de fincas o unidades productivas usando los principios de la Teoría Moderna de Portafolios, es decir cómo distribuir de manera eficiente los recursos disponibles a una combinación de opciones de producción agrícola (especies de cultivos, forestales y/o animales) que presentan diferentes niveles de riesgo. Representar este tipo de problemas no solo requiere desarrollar modelos capaces de estimar los beneficios económicos de cada opción productiva, sino que requiere

5 También conocidos como modelos de preferencia con múltiples objetivos. El modelo de preferencia es frecuentemente empleado independiente del modelo de decisión básico (o modelo de consecuencias), y llamado análisis de decisiones multicriterio, sin que en realidad corresponda a un modelo de decisión o pueda catalogarse como Análisis de Decisiones (Zionts, 1979).

6 Algunos países de las Américas usan diferentes denominaciones para las divisiones políticas equivalentes a un estado federal tales como departamentos, provincias o comunidades autónomas.

representar la disminución del riesgo asociada a la diversificación y las estrategias de diversificación usadas por los productores (Anderson et al., 1977). Ejemplos de unidades de producción que pueden ser representadas adecuadamente desde una perspectiva de portafolio son las fincas lecheras doble propósito, los sistemas silvopastoriles, los sistemas agroforestales, las huertas de subsistencia e, incluso, los sistemas de rotación de cultivos extensivos. Una aplicación reciente del AD usando esta perspectiva es la evaluación de los sistemas de producción de hortalizas irrigados del Valle del Sinú. Este modelo de decisión extrajo de los agricultores información sobre el sistema de producción, que fue usada para representar la productividad y el riesgo de cada cultivo y las estrategias de diversificación usadas por los agricultores en función de su acceso a los recursos financieros (Burbano-Figueroa et al., 2020, 2022a).

- Decisiones de producción en condiciones inciertas. La finca como unidad de negocios enfrenta múltiples incertidumbres en los precios de los insumos y productos, variabilidad y efecto climático y otros factores que determinan la cantidad y calidad de la producción. La finca origina varios productos a partir de cultivos o ganado mediante el control de muchas variables. Estos procesos están representados por funciones de producción (también llamadas curvas de respuesta, curvas de rendimiento, o relación insumos/producto). Una función de producción mide la consecuencia

de usar más insumos sobre los niveles de producción. Ejemplos de funciones de producción son el impacto de los niveles de fertilización sobre el rendimiento y la productividad, el efecto de la irrigación, mayores inversiones en capital, maquinaria o mano de obra, o el control de plagas y enfermedades (Anderson et al., 1977; Kay et al., 2019). Las funciones de producción usualmente no incorporan la incertidumbre (CIMMYT, 1988; Kay et al., 2019; Perrin et al., 1983), pero el AD permite crear representaciones de funciones de producción bajo condiciones inciertas. Dos ejemplos recientes en el área de protección de cultivos muestran tales aplicaciones de AD en el manejo de plagas (Burbano-Figueroa, 2021) y enfermedades (Ruett et al., 2020). Además, el AD tiene el potencial de proveer un marco referencial común para el manejo de plagas y enfermedades que permite hacer comparaciones entre manejo profiláctico (aplicaciones calendario, por ejemplo), el manejo reactivo (referido comúnmente como umbral de daño económico), y el control biológico (Burbano-Figueroa et al., 2022b; Mumford & Norton, 1984).

El cono de la incertidumbre permite representar adecuadamente la jerarquía de los problemas de decisión en el sector agrícola (figura 3). En esta representación, la incertidumbre aumenta en proporción a la escala espacio-temporal de los problemas de decisión. Este incremento en la incertidumbre está asociado a que entre más lejos ocurran los eventos en el futuro, más difícil es predecirlos, y entre más grande la escala de un territorio, mayor es la heterogeneidad del paisaje.

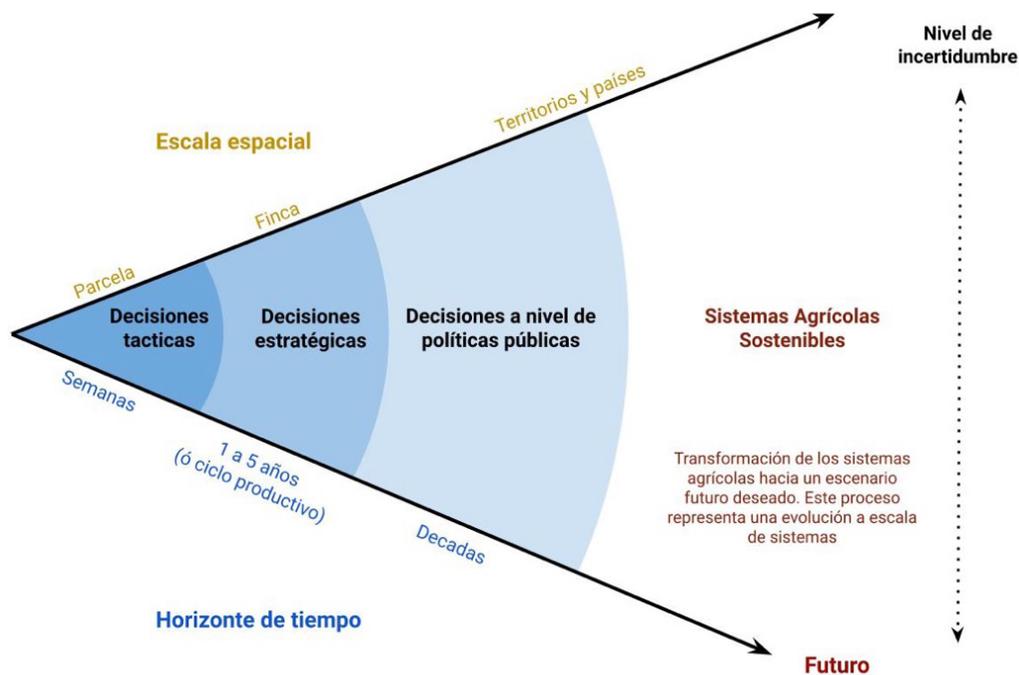


Figura 3. Cono de incertidumbre para problemas de decisión en el sector agrícola.

Fuente: elaboración propia, a partir de síntesis de modelos previos (Burbano-Figueroa, 2022; Conway, 1984; Lum, 2015; Rabbinge et al., 1993; Webb, 2019).

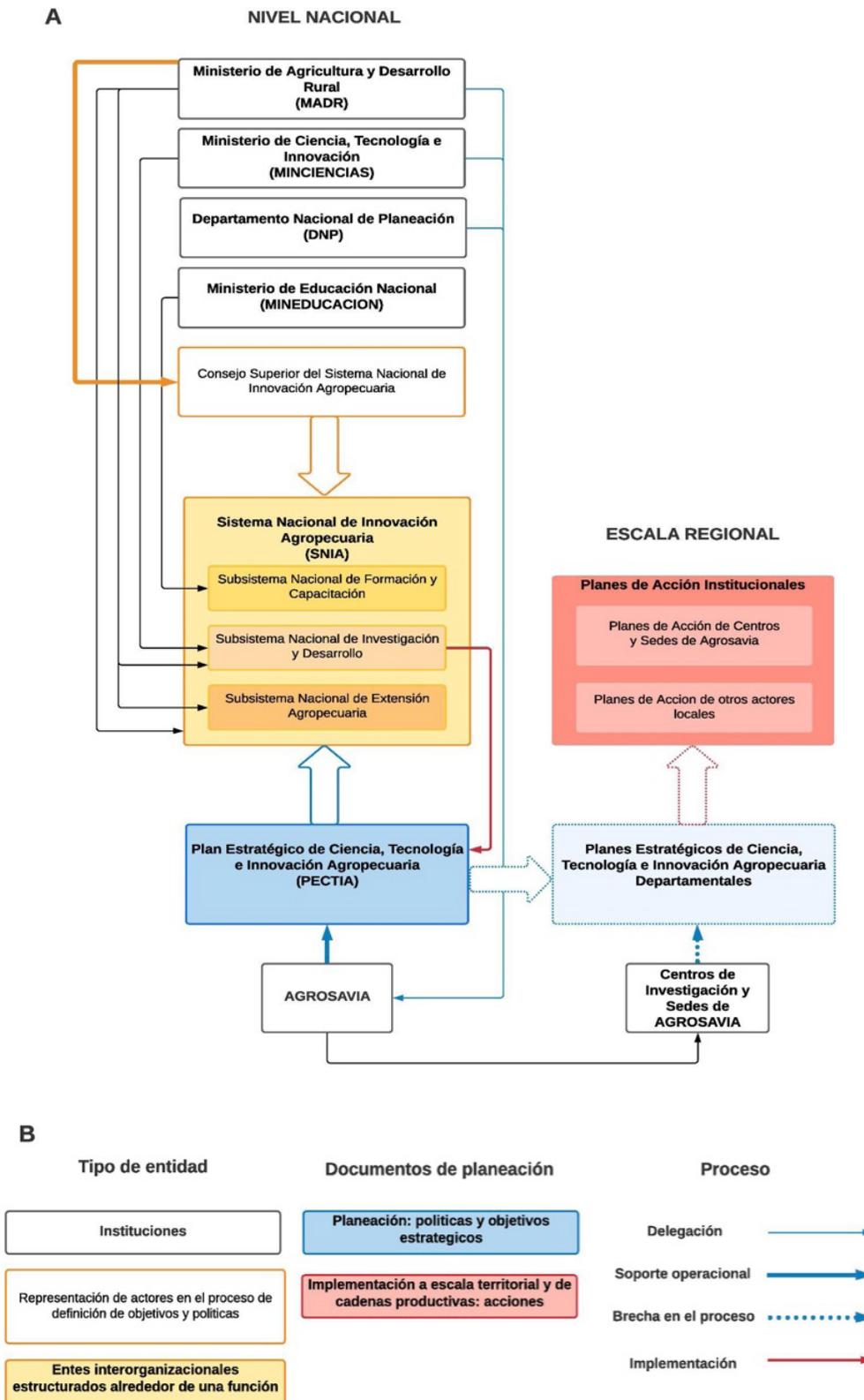


Figura 4. Modelo conceptual del contexto institucional y planificación para el fomento de ciencia, tecnología e innovación (CTI) para la agricultura en Colombia. A. Descripción del Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria (SNIA) recientemente implementado. B. Descripción de los elementos del SNIA como componentes de un modelo de planificación racional de políticas públicas.

Fuente: elaboración propia.

El cono de la incertidumbre también permite incluir el concepto de sostenibilidad desde una perspectiva normativa. En esta perspectiva, las acciones (decisiones) del presente están orientadas a la transformación de los sistemas agrícolas hacia un escenario futuro deseado: la sostenibilidad.

¿Cómo podría ser incorporado el Análisis de Decisiones en el actual sistema de planificación de investigación del sector agrícola colombiano?

Hoy en día, los esfuerzos públicos en Colombia para el fomento de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI) en el sector agrícola están consolidados en el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) (figura 4, panel A). El SNIA es un ejemplo de planificación racional de política pública que incluye diferentes componentes: entidades, documentos o instrumentos de planificación y procesos (figura 4, panel B). Este tipo de planificación pública está orientada a la búsqueda de consensos en entornos de poder compartido (Bryson, 2004). En el caso colombiano de CTI, estos consensos están resumidos en el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria (PECTIA) (Corpoica et al., 2016). Los objetivos estratégicos del PECTIA muestran la tendencia actual de buscar en los sistemas agrícolas y agroindustriales no solo el aprovisionamiento de mercados, sino también la prestación de servicios ambientales y sociales (figura 5).

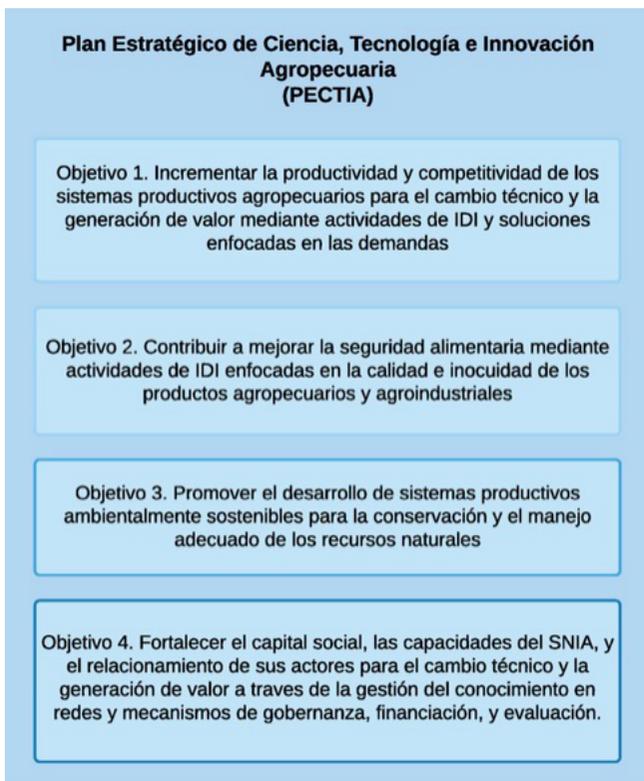


Figura 5. Objetivos del PECTIA desarrollado en Colombia como parte del proceso de planificación de la inversión pública en investigación, desarrollo e innovación en el sector agrícola

Fuente: Corpoica et al. (2016).



Figura 6. Propuesta de organización para los STI alrededor de la creación de documentos de planificación territorial orientados a la transformación de los sistemas locales de producción agrícola (el futuro deseado)

Fuente: elaboración propia.

Actualmente, la planificación del SNIA está limitada al PECTIA, que tiene la función de documento estratégico de escala nacional. Las líneas de acción y los objetivos estratégicos de este documento están conectados a las necesidades territoriales y las cadenas de valor a través de la identificación y priorización “cualitativa” de demandas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) (Corpoica et al., 2016). Las demandas prioritarias identificadas deben ser satisfechas con futuros proyectos de CTI financiados con recursos públicos. La priorización de las demandas es desarrollada usando un enfoque cualitativo en el que los expertos califican, a partir de su juicio, qué tan importante es cada una de las demandas. Las demandas de primer y segundo orden son consideradas prioritarias y usadas para retroalimentar el documento de planificación nacional.

En el cono de planificación estratégica (figura 3), cada escala espacio-temporal de planificación es una unidad de

toma de decisiones que requiere un plan estratégico, es decir, un conjunto de objetivos y decisiones que definen cómo actuar bajo los condicionamientos específicos del nivel. Existen condicionantes externos que limitan el actuar de estos planes, pero también existen internos que los orientan, restringen o limitan. En este último caso, los modelos de escala superior actúan como condicionantes de los modelos de escala inferior. En esta perspectiva, el PECTIA nacional es el documento orientador de la política pública en CTI del sector agropecuario, pero la implementación a nivel territorial y de cadenas de valor requiere la creación de nuevos objetivos estratégicos (enmarcados dentro de los objetivos nacionales o de política pública) y líneas de acción. Este ejercicio es necesario porque los territorios (estados, provincias o departamentos) y las cadenas de valor son unidades de toma de decisión distintas al nivel nacional con particularidades de contexto e interacciones entre actores. Un documento estratégico a escala territorial puede incorporar los objetivos planteados en otros documentos de política pública territorial, pero sobre todo puede priorizar las acciones implementar.

En este contexto, la priorización de demandas de CTI del PECTIA (enfoque reactivo) es reemplazada por la construcción de documentos estratégicos a escala departamental y de cadenas de valor. La planificación estratégica a menor escala facilita el proceso de implementación de los objetivos del PECTIA, promueve la búsqueda de soluciones y la construcción de acciones (enfoque proactivo), facilita la estimación cuantitativa de los beneficios de estas acciones, y permite la replicabilidad y evaluación del proceso de planificación a escala territorial y de cadenas. Estos modelos de planificación de menor escala no ignoran el contexto local (los modelos cuantitativos son un tipo de descripción de ese contexto) o la incertidumbre. A este grado de planificación el AD resulta útil, pues es posible implementar aproximaciones cuantitativas para identificar las acciones de mayores beneficios y los riesgos e incertidumbres más relevantes y las brechas de conocimiento. En esta perspectiva, el PECTIA a escala local y de cadenas estaría representado por planes estratégicos con acciones priorizadas usando enfoques cuantitativos (que pueden ser desde aproximaciones heurísticas de los beneficios de las acciones a desarrollar hasta simulaciones), y no la valoración directa de la importancia de brechas de conocimiento (las hoy definidas como demandas de CTI) por los expertos locales sin reflexionar sobre el valor económico, ambiental o social de las acciones priorizadas.

La planificación estratégica es un continuo entre planificación e implementación, la transición desde la visión hacia la ejecución de acciones que se actualizan con el aprendizaje (Bryson, 2010; Bryson et al., 2018). Esta diferenciación entre planificación e implementación es mucho más evidente en los procesos de transformación socioecológica. En escalas espacio-temporales superiores de planificación estratégica, los esfuerzos están concentrados exclusivamente en planificar, en la construcción de una visión determinista del futuro sin consideraciones de los recursos necesarios para alcanzarla, o de las acciones a implementar. Por el contrario, a nivel local y territorial la planificación estratégica está orientada hacia la implementación de acciones bajo las

condiciones del ambiente local (situaciones), gobernabilidad compartida, preferencias de los actores e incertidumbre (Di Gregorio et al., 2019; Kimmich et al., 2022). Esta transición también se ve reflejada en qué tipo de métodos pueden ser usados. A escala nacional, en que la incertidumbre es mayor, prevalecen las metodologías cualitativas que facilitan la identificación de visiones, objetivos y acciones (Cox, 2022). A escalas inferiores es posible implementar enfoques cuantitativos, porque la definición del problema es menos abstracta y las acciones son mucho más concretas y facilitan el proceso de desarrollo de modelos y la captura de información cuantitativa.

La implementación de planes estratégicos a escala departamental y de cadenas, y la evaluación cuantitativa de los beneficios de las acciones está además alineada con la visión del SNIA. La creación del SNIA concibe la creación de los Sistemas Territoriales de Innovación (STI)⁷ para facilitar la implementación de los objetivos nacionales de CTI del sector agrícola. Se han propuesto varias metodologías para tal desarrollo (Corporación PBA, 2017; Martínez Pachón et al., 2020), pero todas ellas carecen de la replicabilidad del proceso (y la consecuente posibilidad de aprendizaje) que solo un proceso estructurado de planificación estratégica puede ofrecer (Bryson, 2010; Hobday et al., 2020). En línea con los enfoques normativos para el desarrollo de sistemas de innovación (Andersen & Andersen, 2017; Jelic von Gesseneck et al., 2018), nosotros también proponemos que el enfoque metodológico más racional para la implementación de los STI es la identificación de las acciones estratégicas que incrementan la posibilidad de alcanzar el escenario futuro de sistemas de producción local sostenibles. Esta planificación estratégica creada para alcanzar un escenario deseado en un horizonte de largo plazo (más de una década) es denominada *prospección estratégica*⁸ (figura 6) y ofrece una visión normativa al concepto de sostenibilidad (figura 3). Este enfoque es usado tradicionalmente en la consolidación de sistemas de innovación porque está en capacidad de promover la creación participativa de objetivos estratégicos de largo plazo en contextos de gran incertidumbre y autoridad compartida (Klerkx & Begemann, 2020; Padbury, 2020). Alcanzar tales objetivos requiere priorizar acciones en el presente y aquí nuevamente un enfoque cuantitativo (como el AD) para tal priorización ofrece los mayores beneficios para identificar aquellas acciones con el mayor potencial de alcanzar el futuro deseado.

7 Sistemas territoriales de innovación es el concepto usado en la legislación colombiana y es el equivalente a sistemas regionales de innovación.

8 Este documento usa el concepto *prospección estratégica* como traducción del término "strategic foresight", el enfoque combinado de planificación estratégica y análisis de futuros. El análisis de futuros también es conocido como pensamiento de futuros, "foresight" o "la prospective". Existen dos enfoques metodológicos en análisis de futuros para la construcción del contexto, los futuros alternativos y los escenarios: un enfoque basado en extrapolaciones y una perspectiva normativa. En el enfoque basado en extrapolaciones se busca identificar cambios en el futuro que puedan afectar la planificación estratégica, mientras que la perspectiva normativa está orientada a identificar el escenario de futuro deseado e identificar las acciones estratégicas para alcanzar ese escenario. En este contexto, la transformación hacia la sostenibilidad de los sistemas agrícolas es un ejercicio normativo de análisis de futuros.

Conclusiones

El Análisis de Decisión (AD) es una herramienta adecuada para la planificación de ciencia, tecnología e innovación, para la búsqueda de soluciones a problemas estructurales y para la toma de decisiones del sector agrícola (problemas de desarrollo rural). En Colombia puede ser incorporada para la planificación a nivel regional de acciones de investigación, desarrollo e innovación. En este contexto en particular, el AD puede ofrecer una solución eficaz a la carencia de participación de los actores locales en la implementación del PECTIA y en la valoración sistémica del contexto espacio-temporal de las alternativas de solución. Por su carácter de modelamiento participativo el AD está en capacidad de recoger el conocimiento, expectativas y potenciales soluciones desarrolladas o concebidas por las comunidades rurales, indígenas y afrodescendientes.

El uso de enfoques cualitativos y cuantitativos del AD puede proveer de un método eficiente y racional de toma de decisiones en los contextos de prontitud y carencia de recursos que enfrentan las instituciones dedicadas a la investigación agrícola. El AD puede facilitar la adopción de tecnologías y la implementación de intervenciones, así como proveer de una estimación de los beneficios esperados de estas acciones. En el caso de las exigencias modernas de beneficios requeridas a los sistemas agrícolas, el AD permite la cuantificación de beneficios económicos, servicios ecológicos y sociales, y además la identificación usando modelos de preferencia multicriterios de aquellos sistemas de producción eficientes en términos de sostenibilidad económica, ambiental y social.

La limitación más importante para el uso del AD en el sector agrícola es el escaso conocimiento de esta área, y la escasa disponibilidad de textos, cursos o instituciones que faciliten su disseminación. Este trabajo tiene también como propósito servir como material educativo y de disseminación de esta técnica en el sector agrícola.

Financiación

Este artículo fue parcialmente financiado con fondos de Stiftung Fiat Panis, the German Academic Exchange Service (DAAD) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no tienen afiliaciones o relaciones de interés financiero con respecto a los conceptos discutidos en este artículo.

Referencias

- Adams, R. J., Smart, P., & Huff, A. S. (2016). Shades of Grey: Guidelines for working with the grey literature in systematic reviews for management and organizational studies. *International Journal Management Reviews*, 19(Iss. 4), 432-454. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12102>
- Aleem, I. S., Schemitsch, E. H., & Hanson, B. P. (2008). What is a clinical decision analysis study? *Indian Journal of Orthopaedics*, 42, 137-139. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.40248>
- Ampatzoglou, A., Bibi, S., Avgeriou, P., Verbeek, M., & Chatzigeorgiou, A. (2019). Identifying, categorizing and mitigating threats to validity in software engineering secondary studies. *Information and Software Technology*, 106, 201-230. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.10.006>
- Andersen, A. D., & Andersen, P. D. (2017). Foresighting for inclusive development. *Technological Forecasting and Social Change*, 119, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.06.007>
- Anderson, J. R., Dillon, J. L., & Hardaker, B. (1977). *Agricultural decision analysis*. The Iowa State University Press.
- Anderson, J. R. (1992). *Risk analysis in dryland farming systems (Farm systems management series)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Anderson, J. R. (2003). Risk in rural development: challenges for managers and policy makers. *Agricultural Systems*, 75, 161-197. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00064-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00064-1)
- Bell, D. E., Raiffa, H., & Tversky, A. (1989). *Decision making: Descriptive, normative, And prescriptive interactions*. Cambridge University Press.
- Bogdanović, S., & Hadžić, M. (2019). Strategic multicriteria decision-making process in agriculture. *Ekonomika Poljoprivrede*, 66, 89-106. <https://doi.org/10.5937/ekoPolj1901089B>
- Bryson, J. M., Edwards, L. H., & Van Slyke, D. M. (2018). Getting strategic about strategic planning research. *Public Management Review* 20, 317-339. <https://doi.org/10.1080/14719037.2017.1285111>
- Bryson, J. M. (2004). *Strategic planning for public and nonprofit organizations: A guide to strengthening and sustaining organizational achievement*. 3.^a ed. Jossey-Bass.
- Bryson, J. M. (2010). The future of public and nonprofit strategic planning in the United States. *Public Administration Review*, 70, s255-s267. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2010.02285.x>
- Burbano-Figueroa, O., Sierra-Monroy, A., David-Hinestroza, A., Whitney, C., Borgemeister, C., & Luedeling, E. (2022a). Farm-planning under risk: An application of decision analysis and portfolio theory for the assessment of crop diversification strategies in horticultural systems. *Agricultural Systems*, 199, 103409. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103409>
- Burbano-Figueroa, O., Sierra-Monroy, A., Grandett Martinez, L., Borgemeister, C., & Luedeling, E. (2021). Management of the Boll Weevil (Coleoptera: Curculionidae) in the Colombian Caribbean: A conceptual model. *Journal of Integrated Pest Management*, 12, 2021-2016. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmab009>
- Burbano-Figueroa, O., Sierra-Monroy, A., Whitney, C., Borgemeister, C., & Luedeling, E. (2022b). Profitability of farm-scale management strategies against the boll weevil in the tropics: case study from the Colombian Caribbean. *Journal of Pest Science*, 95, 931-947. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01409-9>
- Burbano-Figueroa, O., Sierra-Monroy, J. A., & David Hinestroza, A. (2020). Simulación probabilística de ingresos monetarios obtenidos en cultivos del sistema irrigado de producción de hortalizas del Valle del Sinú Colombia. *AgriXiv*. <https://doi.org/10.31220/osf.io/tc694>
- Burbano-Figueroa, O. (2021). Profitability of farm-scale management strategies against the boll weevil in the Tropics: Case study from the Colombian Caribbean. *Open Science Framework*. <https://doi.org/10.17605/osf.io/wv4tg>
- Burbano-Figueroa, O. (2022). *Yield, productivity and technical gaps that limit the cotton agricultural production system in the Colombian Caribbean*. University of Bonn.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica*. CIMMYT.
- Conway, G. R. (1984). *Pest and pathogen control: strategic, tactical, and policy models (international series on applied systems analysis)*. Wiley.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), & Ministerio de

- Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2016). PECTIA. Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria del Sector Agropecuario Colombiano (2017-2027). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12759>
- Corporación PBA. (2017). *Manual para la conformación e implementación de Sistemas Territoriales de Innovación*. Corporación para el Desarrollo Sostenible y Participativo de los Pequeños Productores Rurales.
- Cox, S. (2022). Qualitative analysis to support long-term strategies | World Resources Institute. *Long-term climate strategies*. <https://www.wri.org/climate/expert-perspective/qualitative-analysis-support-long-term-strategies>
- De Jesús Pérez, G. (2020). On the essence and ontology of systems. *Open Science Journal*.
- Dixon, J. A., Gibbon, D. P., & Gulliver, A. (2001). *Farming systems and poverty: Improving farmers' livelihoods in a changing world*. Food & Agriculture Org.
- Di Gregorio, M., Fatorelli, L., Paavola, J., Locatelli, B., Pramova, E., Nurrochmat, D. R., May, P. H., Brockhaus, M., Sari, I. M., & Kusumadewi, S. D. (2019). Multi-level governance and power in climate change policy networks. *Global Environmental Change*, 54, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.10.003>
- Do, H., Luedeling, E., & Whitney, C. (2020). Decision analysis of agroforestry options reveals adoption risks for resource-poor farmers. *Agronomy Sust. Developm.* 40, 20. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00624-5>
- Drinkwater, L. E., Friedman, D., & Buck, L. (2016). *Systems Research For Agriculture*. 1.ª ed. Sustainable Agriculture Research and Education, University of Maryland Printing Services.
- Felizardo, K. R., de Souza, É. F., Napoleão, B. M., Vijaykumar, N. L., & Baldassarre, M. T. (2020). Secondary studies in the academic context: A systematic mapping and survey. *Journal of Systems and Software* 170, 110734. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110734>
- Garousi, V., Felderer, M., & Mäntylä, M. V. (2019). Guidelines for including grey literature and conducting multivocal literature reviews in software engineering. *Information and Software Technology*, 106, 101-121. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.09.006>
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T., & Ohlson, D. (2012). *Structured decision making: A practical guide to environmental management choices*. John Wiley & Sons, Ltd <https://doi.org/10.1002/9781444398557>
- Hardaker, J. B., Lien, G., Anderson, J. R., & Huirne, R. B. M. (2015). *Coping With Risk In Agriculture*. 3.ª ed. CABI.
- Hobday, A. J., Boschetti, F., Moeseneder, C., Stephenson, R. L., Bessey, C., Bulman, C. M., Contardo, S., Cvitanovic, C., Dambacher, J. M., Dutra, L. X. C., et al. (2020). Quantitative foresighting as a means of improving anticipatory scientific capacity and strategic planning. *One Earth*, 3, 631-644. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.015>
- Hubbard, D., & Millar, M. (2014). *Modeling resilience with applied information economics (AIE)*. Technical Consortium, a project of the CGIAR.
- Hubbard, D. (2014). *How to measure anything: Finding the value of intangibles in business*. 3.ª ed. Wiley.
- Jezic von Gesseneck, M., Toffanin, R., & Jezic von Gesseneck, J. (2018). Innovation system foresight and systemic innovation for the overseas countries and territories. *Foresight* 20, 105-122. <https://doi.org/10.1108/FS-07-2017-0034>
- Kamei, F., Pinto, G., Wiese, I., Ribeiro, M., & Soares, S. (2021). What evidence we would miss if we do not use grey literature? *Proceedings of the 15th ACM / IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)* (New York, NY, USA: ACM), 1-11. <https://doi.org/10.1145/3475716.3475777>
- Kay, R., Edwards, W., & Duffy, P. A. (2019). *Loose leaf for farm management*. 9.ª ed. McGraw-Hill Education.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs*. John Wiley and Sons.
- Keisler, J. M., Collier, Z. A., Chu, E., Sinatra, N., & Linkov, I. (2014). Value of information analysis: The state of application. *Environment Systems & Decisions*, 34, 3-23. <https://doi.org/10.1007/s10669-013-9439-4>
- Kimmich, C., Baldwin, E., Kellner, E., Oberlack, C., & Villamayor-Tomás, S. (2022). Networks of action situations: A systematic review of empirical research. *Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01121-2>
- Klerkx, L., & Begemann, S. (2020). Supporting food systems transformation: The what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*, 184, 102901. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102901>
- Klerkx, L., van Mierlo, B., & Leeuwis, C. (2012). Evolution of systems approaches to agricultural innovation: Concepts, analysis and interventions. En I. Darnhofer, D. Gibbon, & B. Dedieu (eds.), *Farming systems research into the 21st Century: The new dynamic* (pp. 457-483). Springer Netherlands https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_20
- Lahnamäki-Kivelä, S. (2022). Coping with uncertainty: Exploring the foresight actions' role in supporting growth-orientation among Finnish dairy farmers. *Futures*, 135, 102870. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102870>
- Lamanda, N., Roux, S., Delmotte, S., Merot, A., Rapidel, B., Adam, M., & Wery, J. (2012). A protocol for the conceptualisation of an agro-ecosystem to guide data acquisition and analysis and expert knowledge integration. *European Journal of Agronomy*, 38, 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.07.004>
- Liman Harou, I., Whitney, C., Kung'u, J., & Luedeling, E. (2021). Crop modelling in data-poor environments - A knowledge-informed probabilistic approach to appreciate risks and uncertainties in flood-based farming systems. *Agricultural Systems*, 187, 103014. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103014>
- Luedeling, E., & De Leeuw, J. (2014). *Decision modeling for the Habaswein-Wajir Water Supply Project in Northern Kenya*. World Agroforestry Center.
- Luedeling, E., Oord, A. L., Kiteme, B., Ogalleh, S., Malesu, M., Shepherd, K. D., & De Leeuw, J. (2015). Fresh groundwater for Wajir ex-ante assessment of uncertain benefits for multiple stakeholders in a water supply project in Northern Kenya. *Frontiers in Environmental Science*, 3. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00016>
- Luedeling, E., Shepherd, K., de Leeuw, J., Downie, K., de Leeuw, J., Luedeling, E., Shepherd, K., & Downie, K. (2014). The application of decision analysis modelling for investment targeting. Technical Consortium, a project of the CGIAR.
- Luedeling, E., & Shepherd, K. (2016). *Decision-Focused Agricultural Research. Solutions*.
- Lum, R. (2015). Foresight vs. Planning Horizons, part 2. <https://visionforesightstrategy.wordpress.com/2015/06/15/foresight-vs-planning-horizons-part-2/>
- Martínez Pachón, E., Uribe Galvis, C. P., Forero L., Ó. A., Buendía Grigoriu, C., Toro Suárez, I., Piniero, M., Luna Mancilla, L. T., Yepes Vargas, L. A., Rincón Novoa, R., Ruiz Ramírez, D. M., et al. (2020). *Tisere: Una propuesta metodológica para la conformación o el fortalecimiento de territorios innovadores y socioecológicamente resilientes*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) <https://doi.org/10.21930/agrosavia.investigacion.7403596>
- McConnell, D. J., & Dillon, J. L. (1997). 4. Further farm-household system elements: Enterprises and activities and their budgeting. En *Farm management for Asia: A systems approach*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Mumford, J. D., & Norton, G. A. (1984). Economics of decision making in pest management. *Annual Review of Entomology*, 29, 157-174. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.29.010184.001105>
- Neumann, J. von, & Morgenstern, O. (2007). *Theory of Games and Economic Behavior: 60th Anniversary Commemorative Edition* (Princeton Classic Editions). 60th Anniversary. Princeton University Press.
- Padbury, P. (2020). An Overview of the Horizons Foresight Method: Using the "Inner Game" of Foresight to Build System-Based Scenarios. *World Futures Review*, 12, 249-258. <https://doi.org/10.1177/1946756719896007>
- Perrin, R. K., Winkelmann, D. L., Moscardi, E. R., & Anderson, J. R. (1983). *Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica*. CIMMYT.
- Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society*

- B: *Biological Sciences*, 365, 2959-2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Rabbinge, R., Rossing, W. A. H., & Werf, W. (1993). Systems approaches in epidemiology and plant disease management. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 99, 161-171. <https://doi.org/10.1007/BF03041406>
- Raiffa, H., & Schlaifer, R. (1961). *Applied statistical decision theory*. 1.^a ed. Division of Research Graduate School of Business Administration Harvard University.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2013). Land Use - Our World in Data. *Our World in Data*.
- Rivera-Ferre, M., Ortega-Cerdà, M., & Baumgärtner, J. (2013). Rethinking Study and Management of Agricultural Systems for Policy Design. *Sustainability* 5, 3858-3875. <https://doi.org/10.3390/su5093858>
- Ruett, M., Whitney, C., & Luedeling, E. (2020). Model-based evaluation of management options in ornamental plant nurseries. *Journal of Cleaner Production*, 122653. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122653>
- Seifu, M., van Paassen, A., Klerkx, L., & Leeuwis, C. (2022). A state-initiated multi-stakeholder platform as an instrument to build agricultural innovation system capacity: A case study from Ethiopia. *Innovation and Development*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2022.2064959>
- 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>
- Tuffaha, H. (2020). Value of information analysis: Are we there yet? *PharmacoEconomics Open*. <https://doi.org/10.1007/s41669-020-00227-6>
- Webb, A. (2019). How to do strategic planning like a futurist. *Harvard Business Review - Digital Articles*.
- Whitney, C. W., Tabuti, J. R. S., Hensel, O., Yeh, C.-H., Gebauer, J., & Luedeling, E. (2017). Homegardens and the future of food and nutrition security in southwest Uganda. *Agricultural Systems*, 154, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.009>
- Yigzaw, N., Mburu, J., Ackello-Ogutuu, C., Whitney, C., & Luedeling, E. (2019). Stochastic impact evaluation of an irrigation development intervention in Northern Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 685, 1209-1220. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.133>
- Zionts, S. (1979). Mcdm—if not a roman numeral, then what? *Interfaces (Providence)*, 9, 94-101. <https://doi.org/10.1287/inte.9.4.94>