

Pensamiento sistémico y teoría de la complejidad en el análisis de sistemas agropecuarios sostenibles: conciencia metódica

Juan Pablo Uzcátegui-Varela¹

¹ Magíster Scientiarum en Producción Animal. Coordinador del Grupo de Investigación en Ciencia Animal y Plantas Tropicales de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprum”, Núcleo La Victoria, Estado Mérida, 5142, Venezuela. Estudiante del Programa Doctoral en Ciencias Humanas. Facultad de Humanidades y Educación. Universidad de los Andes, 5101, Mérida, Venezuela. *Correo electrónico: uzcateguij@unesur.edu.ve

Resumen

El sector agropecuario es uno de los componentes económicos más importantes para el desarrollo de las zonas rurales en Latinoamérica; favorece progresivamente la calidad de vida, garantiza seguridad alimentaria y alivia la pobreza. El actual crecimiento poblacional demanda el uso racional de recursos naturales para cubrir las necesidades nutricionales, ante esto, es esencial la intensificación de los sistemas agroalimentarios mediante iniciativas de manejo sostenible a favor de granjas eficientes, ecológicas y competitivas. Con el ritmo y complejidad que caracterizan la comprensión científica, grandes esfuerzos para transformar la agricultura hacia la productividad sostenible se han realizado en los últimos años, pese a ello, existen diferentes enfoques metodológicos que abordan el desarrollo sostenible, sin concluir en una técnica fácil de comprender y compartir entre los productores, que les permita medir el nivel de sostenibilidad que atraviesa su granja. A continuación se documenta que los sistemas agrícolas son complejos, poseen un conjunto de conexiones, dimensiones y propiedades compatibles con la dinámica biológica y social. En este sentido, el investigador debe diseñar su método científico, sin ambigüedades ni intuiciones, teniendo en cuenta la nueva orientación del pensamiento sistémico, mediante el uso de herramientas numéricas (índices, indicadores) que abordan la complejidad.

Palabras clave: conocimiento estructurado; enfoques metodológicos; objetividad, teoría de la complejidad, teoría general de sistemas.

Abstract

The agricultural sector is one of the most important economic components for the development of rural areas in Latin America; it progressively favors the quality of life, guarantees food security and alleviates poverty. The current population growth demands the rational use of natural resources to cover nutritional needs, given this, it is essential to intensify agri-food systems through sustainable management initiatives in favor of efficient, ecological, and competitive farms. With the rhythm and complexity that characterize scientific understanding, great efforts to transform agriculture towards sustainable productivity have been made in recent years, despite this, different methodological approaches address sustainable development, without concluding in an easy technique of understanding and share among the producers, allowing them to measure the level of sustainability that their farm goes through. Below is documented that agricultural systems are complex, have a set of connections, dimensions, and properties compatible with biological and social dynamics. In this regard, the researcher must design his scientific method, without ambiguities or intuitions, taking into account the new orientation of systemic thinking, through the use of numerical tools (indices, indicators) that deal with complexity.

Key words: structured knowledge; methodological approaches; objectivity; complexity theory; general systems theory.

1. Introducción

En las últimas décadas, la seguridad alimentaria y nutricional o el acceso a alimentos sanos en cantidad suficiente sin comprometer otras necesidades básicas; ha sido un tema crucial para el debate mundial, pues resulta fundamental cubrir los requerimientos mínimos de energía y nutrientes en la dieta de las personas para garantizar el ejercicio efectivo del derecho a una alimentación adecuada, lo cual determina el surgimiento, desarrollo y persistencia de las civilizaciones humanas (Vasconcellos & Azevedo, 2018).

Las actuales investigaciones sobre sistemas alimentarios, reflejan la necesidad de emplear un enfoque científico holístico, que combine las disciplinas de biología, química y ciencias de los materiales, entre otras, para plantear soluciones pragmáticas capaces de englobar la importancia de obtener alimentos sanos de forma eficiente, así como apoyar el concepto de seguridad alimentaria mediante herramientas analíticas de fácil comprensión y uso, que permitan evaluar la potencialidad productiva de las granjas y garantizar el éxito sostenido (FAO, OPS, WFP & UNICEF, 2019).

La historia de la agricultura puede verse como un largo proceso de intensificación, donde la sociedad buscó satisfacer sus cada vez mayores necesidades nutricionales, haciendo más productivos los cultivos en busca del desarrollo socioeconómico que le permitiese, a toda nación, alcanzar la anhelada seguridad alimentaria, una de las preocupaciones con mayor vigilancia global, cuya respuesta favorable es maximizar la ganancia y productividad agropecuaria a través de mecanismos prácticos que ameriten el aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles con menor impacto ambiental (Thrall, Bever & Burdon, 2010; Xie, Huang, Chen, Zhang & Wu, 2019).

La comunidad científica juega un papel esencial en el planteamiento de métodos experimentales que logren diseñar estrategias innovadoras en medio de las prácticas agrícolas tradicionales y, de esta forma implantar sistemas agropecuarios que utilicen eficientemente los recursos naturales disponibles, minimicen las emisiones de gases contaminantes y promuevan la sostenibilidad (Beddington et al. 2012); al respecto Cole,

Agustin, Robertson & Manners, (2018) y Lampridi, Sørensen&Bochtis (2019) documentaron que el crecimiento demográfico mundial alcanzará para 2050 los 9,8 billones de habitantes, lo cual amerita la intensificación productiva de las granjas y el incremento de la eficiencia biológica para ofrecer suficientes alimentos al mercado. Sin embargo Arnés-García, Yagüe, De Nicolás & Díaz-Puente (2020) afirman que esta intensificación representa una considerable huella ambiental que llama la atención de grupos ecologistas, cada día más numerosos, quienes en los últimos años reclaman una agricultura sostenible, es decir, agroecosistemas capaces de satisfacer las necesidades humanas y ambientales a lo largo del tiempo.

Para evaluar la sostenibilidad en las fincas Lampridi et al. (2019) explican que es conveniente emplear herramientas de análisis técnico basadas en indicadores cuantitativos, pero que aún persisten limitantes metodológicas y conceptuales como el acceso a datos verídicos sin sesgo, la complejidad del concepto de sostenibilidad y la heterogeneidad propia de cada entidad que conforma los sistemas agrícolas; en función de ello, se espera mayor precisión del conocimiento científico para dar respuesta a las inquietudes que hoy demanda la sociedad moderna sobre salud y sostenibilidad agroindustrial.

Los métodos para evaluar sostenibilidad agropecuaria en granjas productivas requieren la gestión de una amplia oferta de datos, parámetros e incertidumbres propias de los sistemas biológicos; pero actualmente existen varios esquemas metodológicos basados en enfoques holísticos que permiten concluir sobre el nivel de sostenibilidad en las granjas, utilizando regularmente los indicadores de sostenibilidad, el monitoreo integral de la granja y los criterios de análisis múltiple, este último resulta ideal para evaluar integralmente la sostenibilidad de las unidades productivas debido a la solidez científica, factibilidad, utilidad, aplicabilidad y adaptabilidad que lo caracteriza; por esta razón los métodos cuantitativos destacan en la mayoría de publicaciones científicas del área, debido a que sus protocolos generalmente son claros y bien establecidos; en contraste, los estudios cualitativos frecuentemente son inconsistentes en la terminología con mayor valoración subjetiva, por lo que el cambio de paradigmas metodológicos, ha generado discrepancias

entre los investigadores, quienes en su mayoría recomiendan el mayor detalle operativo que describa la dinámica real en las granjas cuando se trata de sostenibilidad, favoreciendo los detalles analíticos sobre el origen de los datos y evadiendo una gama de métodos cualitativos y marcos emergentes (Talukder & Blay-Palmer, 2017).

En vista del actual incremento de inversión financiera por promover el consumo de alimentos sanos, en unión con el interés social por conocer el impacto de las prácticas agrícolas al entorno natural; el análisis de sistemas agropecuarios bajo el enfoque holístico en pro de la sostenibilidad representa un desafío para la ciencia por alcanzar el mayor nivel de seguridad nutricional en medio de una baja productividad agrícola que aqueja a la mayoría rural de América Latina; en tal sentido, la perspectiva basada en teoría de sistemas, que vincula la seguridad alimentaria con la productividad frente a megatendencias ecológicas, solicita un punto de vista colaborativo y transdisciplinario de la ciencia, que admita habilitar métodos prácticos en un contexto de directrices sociales, económicas y ambientales necesarias para producir alimentos (Cole et al. 2018).

Las ciencias del agro, tal y como se conocen hoy, han evolucionado en los últimos 50 años gracias a contribuciones de diversas disciplinas, en especial aquellas fundamentadas en el uso de datos sistémicos, modelado, simulación e información geográfica a través de satélites para georreferenciar el volumen productivo de las zonas con vocación agrícola; pese a ello, hay limitantes inherentes en el uso de estas herramientas y su comprensión por parte del productor debido a incertidumbres en la estructura teórica que define la dinámica en la mayoría de modelos productivos; no obstante se reportan con regularidad prácticas experimentales en el campo que evidencian el deseo por promover sistemas agrícolas que operen ajustados a un método científico claro para abordar las preguntas que enfrenta la sociedad sobre la producción de alimentos, en especial, dar respuesta a las interrogantes que van desde ¿cómo gestionar mejor los sistemas agrarios para alcanzar un alto nivel de sostenibilidad y una producción más eficiente? ¿qué cambios se necesitan en las granjas para una mayor rentabilidad sin dañar el ambiente? y, ¿qué sistemas son prioridad para adaptarse a los retos actuales que enfrenta la agricultura con respecto al cambio climático,

los requerimientos de productos agrícolas, los costos de producción y el grado de sostenibilidad? (Jones et al. 2017; Xie et al. 2019).

La actividad agropecuaria es un medio económico complejo que amerita el planteamiento y estudio de indicadores o atributos clave que proporcionen una señal del estado operativo del sistema en función de los medios o factores existentes, así como de las distintas interacciones que se producen entre ellos con el entorno, de manera que sea posible describir la estructura, productividad y características de rentabilidad en la granja; esto resulta beneficioso para el desarrollo de estrategias prácticas de adaptación que sean efectivas para los cultivos o el ganado, buscando determinar la respuesta productiva al cambio climático como elemento crucial de sostenibilidad a corto y largo plazo, igualmente identificar aquellas unidades productivas con capacidad inmediata de implementación, así como predios que requieren mayor desarrollo (Ruiz & Oregui, 2001; Hatfield et al. 2018).

Los sistemas agroalimentarios pueden conceptualizarse como un complejo proceso de transformación que depende y crea importantes retroalimentaciones entre los recursos naturales y la sociedad humana; su complejidad de estudio radica en la pluralidad natural de sus procesos, los cuales están conformados por diversas piezas heterogéneas cuyas interacciones definen el metabolismo del sistema (Figura 1); sin embargo, la intensificación de estos sistemas económicos ha influido negativamente sobre el estado futuro de los recursos naturales, condicionando la sostenibilidad del sector primario que hoy demanda la ciudadanía. A la par de las dificultades que se presentan al analizar los sistemas agroalimentarios, sobresale la dificultad por determinar con precisión los puntos críticos que restringen el nivel de sostenibilidad, debido a la incertidumbre implícita que representan las variables ambientales, que al fluctuar afectan todo tipo de actividad, dificultando la toma de decisiones y por ende, su eficiencia sostenible (Nesheim, Oria & Yin, 2015; Gamboa et al. 2016).

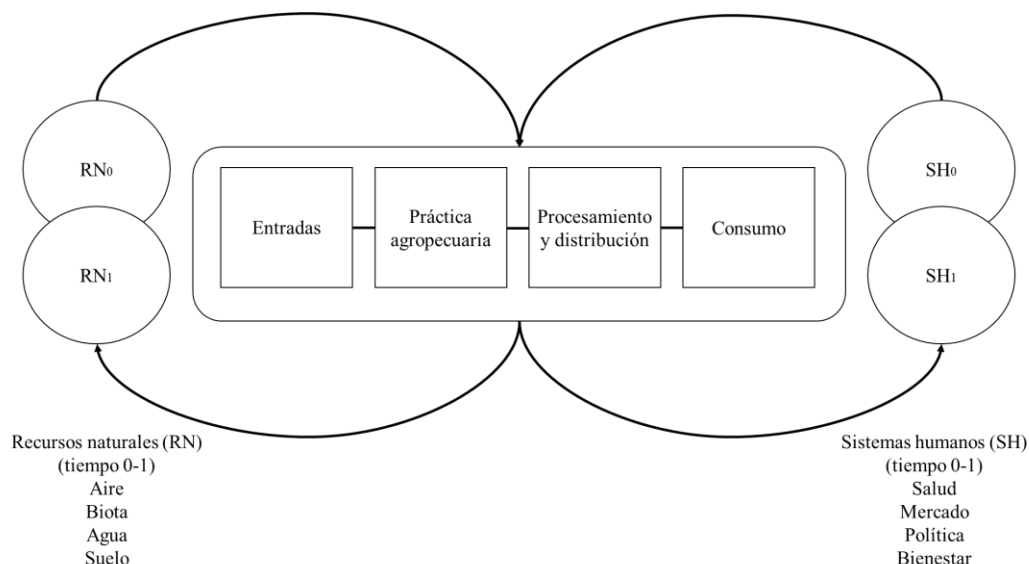


Figura 1: Metabolismo del sistema alimentario que explica la ruta de transformación que experimentan los recursos naturales a partir de retroalimentaciones que influyen sobre los sistemas humanos de un período al siguiente (Nesheim et al. 2015)

La conceptualización integradora o perspectiva multinivel explica las transiciones que se producen a través de procesos de interacción entre las dimensiones biológicas, económicas, sociales y ecológicas que hacen la comprensión, conceptualización y operacionalización de las variables asociadas a cada dimensión sistémica para estructurar la difícil aplicabilidad del concepto de sostenibilidad del sistema agropecuario a escala de granja (El Bilali, 2019).

La consideración de estas características multinivel, multisectoriales y heterogéneas propias de los sistemas alimentarios, así como sus implicaciones, son discutidas bajo varias perspectivas científicas que analizan sostenibilidad, eficiencia biológica e incluso resiliencia del agroecosistema, un enfoque que ha aportado durante años a los investigadores agrícolas importantes conocimientos sobre el comportamiento sistémico; además, hay una pluralidad de factores que afectan y se ven afectados por los eventos que tienen lugar tradicionalmente en la mayoría de sistemas productivos; como resultado, se pueden generar diversas representaciones que no exponen la realidad dinámica del sistema,

lo que lleva a muchas evaluaciones del desempeño de estos regímenes, por lo que es necesario considerar una amplia gama de representaciones gráficas y numéricas para comprender la pluralidad de las partes interesadas y su relación con el concepto de sostenibilidad, para ello se han definido indicadores cuantitativos que permiten medir el desempeño y evidenciar los problemas estructurales; de esta manera, el uso de indicadores mayormente cuantitativos en las diferentes dimensiones y escalas, ha sido útil para identificar las compensaciones típicas de la evaluación integrada (Foran et al. 2014; Gamboa et al. 2016).

La perspectiva o enfoque de sistema complejo, es la clave para que un esquema metodológico de análisis pueda capturar adecuadamente los elementos dinámicos del sistema que ofrezcan una comprensión concreta sobre conexiones dentro y entre sistemas (Foran et al. 2014; Hammond & Dubé, 2012). Para el correcto manejo de datos, es importante la estandarización de los componentes, métodos, herramientas, formato y procesos analíticos con el fin de promover una plataforma numérica para científicos, utilizando un lenguaje común aceptado con vocabulario y expresiones específicas para el análisis de datos; en este esfuerzo, se están llevando a cabo iniciativas que armonicen y especifiquen los estándares referenciales para diagnosticar el estado del sistema productivo, así como el destino de sus productos (Carbone, Jensen & Sato, 2016).

La complejidad por comprender la funcionabilidad de los sistemas biológicos así como detallar las debilidades de la explotación agraria, sigue siendo un desafío para quienes estudian la sostenibilidad en el negocio agropecuario, pues la literatura teórica y empírica discutida durante años, ha demostrado que los riesgos y la incertidumbre son determinantes en la adopción de nuevas tecnologías en el campo rural; de ahí la conveniencia de abordar los grados de abstracción desde una perspectiva mucho más amplia con fundamentos filosóficos, conceptos y estrategia para el desarrollo, de manera que sea posible introducir soluciones a los problemas que aquejan la explotación a escala individual como sectorial (Meijer, Catacutan, Ajayi, Sileshi&Nieuwenhuis, 2014; Velten, Leventon, Jager & Newig, 2015).

Para De Olde & Valentinov, (2019) y El Bilali, (2019) la evolución metodológica sobre el estudio de las prácticas agrarias hacia el análisis de las sostenibilidad a partir de la teoría general de sistemas, ha transformado el pensamiento del desarrollo agrícola-rural en las últimas décadas; a pesar de ello, los nuevos métodos de evaluación operativa en la agricultura enfrentan una serie de vacíos conceptuales que omiten importantes detalles funcionales que posiblemente resulten concluyentes para calcular con mayor precisión el nivel de sostenibilidad de un sistema agropecuario; entre los fallos según Parra, (2016) destaca la brecha entre lo empírico u observable y lo real, pues no es posible interpretar la realidad por medio de la simple observación; en este sentido, la ontología realista, diferenciada y estratificada apunta a interpretar el mundo bajo nuevas perspectivas sobre la naturaleza del conocimiento; esta premisa valida los comentarios expuestos por Meijer et al. (2014) quienes consideran que proporcionar directrices fundamentadas en experiencias previas y registradas en campo, resulta útil para detallar las funciones sistémicas e incluso, rediseñar técnicas de manejo agropecuario convencionales para adaptarlas a las nuevas condiciones, en particular para garantizar su sostenibilidad.

El estudio científico de un agroecosistema y sus problemas complejos, amerita un modelo de sistema de componentes y sus interacciones, los recursos naturales y los factores humanos; en este sentido la investigación sistémica se basa en una visión unitaria e inclusiva de los elementos que conforman el sistema, reconoce discutir y diferenciar objetivamente lo empírico y las teorías científicas sin desplazar los conceptos metódicos de la ciencia disciplinaria tradicional; esta visión unitaria del sistema (en este caso, la granja como unidad de análisis), permite ofrecer en términos reduccionistas, un marco referencial entre los enfoques metodológicos disponibles; así los resultados obtenidos durante el análisis de campo crea una asociación entre comprensión teórica y evidencia empírica, centrándose en explicar los mecanismos por los cuales funciona el sistema así como los efectos que producen posibles modificaciones, de ahí la relación entre realismo e investigación sistémica (Jones et al. 2016).

La investigación realista es un método emergente desarrollado para abordar el análisis integral de los sistemas complejos; acepta que existen diversos marcos referenciales que buscan organizar y comprender los fenómenos articulados del mundo biofísico o de los llamados “datos duros”, lo que constituye una aproximación epistemológica que limita al cuestionado relativismo, dejando a un lado el primitivo conocimiento humano subjetivo que niega las propiedades del mundo objetivo, y en su lugar, considerar e interpretar literalmente las teorías científicas que buscan, gracias a su carácter verificable, la verdad o su aproximación, pues las explicaciones científicas son solo una perspectiva parcial de los procesos naturales (Diéguez, 2005; Zamora, 2017; Tomich et al. 2019).

Chakravartty & Van Fraassen, (2018) documentan que el realismo científico se considera como la única filosofía de la ciencia que no deja el éxito del método científico a un milagro inexplicable, por el contrario, ofrece una justificación filosófica para el éxito predictivo a largo plazo de teorías o hipótesis científicas; por tanto, es posible creer en la verdad de cualquier teoría científica basándose en la mejor explicación con hechos cuantificables y demostrables.

El paradigma cuantitativo en las experiencias científicas y sus métodos empíricos pueden proporcionar detalles y hechos sobre los cuales soportar las teorías (Iosifides, 2017); y a su vez, incluir una metodología fundada en principios realistas para poder comprender los mecanismos por los cuales funciona una intervención a partir del desarrollo de las teorías disponibles, según el contexto, y los resultados que se van originando en el proceso de forma constante en medio de evidencias provenientes de intervenciones complejas que generen conclusiones más pragmáticas como enfoque alternativo para la revisión sistemática (Rycroft-Malone et al. 2012); es así como Pignuoli-Ocampo, (2019) expone que la realidad generada por la ciencia es parte de la evidencia verificable que transforma todo sistema o evento desde la producción de conocimiento.

En función de los antecedentes aquí expuestos, evaluar la sostenibilidad es un tema por naturaleza multidimensional, difícil de implementar en muchas situaciones agrícolas y

que aborda una serie de criterios o datos dispersos que para Bockstaller, Feschet & Angevin, (2015) es necesario organizarlos en un esquema general de indicadores conceptuales que logre una evaluación integral de las dimensiones ecológica, económica y social; de manera que sea posible evitar un sesgo sobre el impacto real de las actividades propias del sistema agropecuario, condicionando la productividad derivada de la eficiencia biológica.

La evidencia experimental reportada para estudiar la sostenibilidad en sistemas agrícolas y ganaderos, indica que la productividad parece incrementarse a través del tiempo si se dispone de activos naturales, sociales y humanos; por tanto, es prioridad desarrollar los enfoques realistas que integren los procesos biológicos, ecológicos y sociales en la producción de alimentos; así es posible la reducción sistemática de datos complejos mediante una matriz de índices que resulten determinantes para la gestión sostenible de la tierra. A continuación, se explorarán las visiones metodológicas que según expertos como Pretty, (2008); Bockstaller et al., (2015); Gaviglio, Bertocchi, & Demartini, (2017); Cruz, Mena & Rodríguez-Estévez, (2018) y El Bilali, (2019) ofrecen una explicación verdadera y objetiva de la realidad con respecto a los eventos que tradicionalmente garantizan la producción rural sostenible. El objetivo del presente trabajo es documentar perspectivas metodológicas que permiten evaluar cómo reflexiones metodológicas sustentadas bajo conceptos teóricos y filosóficos se pueden aplicar en sistemas evolutivos complejos para comprender la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

2. La producción agropecuaria como sistema complejo

La práctica científica contemporánea ha centrado la atención de investigadores y filósofos en el problema de la complejidad, desarrollando nuevos enfoques epistemológicos que intentan superar el tipo atomista de reduccionismo, proponer modelos de análisis y una explicación basada en dinámica causal-mecanicista, que se centra en los modos de organización y donde las interacciones juegan un papel central, tal y como ocurre en los sistemas agropecuarios, ya que a través de las interacciones naturales, se ejercen cambios en sus entidades, evidenciándose un comportamiento cooperativo imposible de concebir de

forma lineal, porque se refiere a bucles de retroalimentación que pueden explicar y predecir el comportamiento de cada elemento, el cual al verse afectado ejerce un impacto sobre los demás, como una red interconectada de información y energía; por tal razón, la complejidad epistémica debe asumirse siempre cuando una gran cantidad de elementos en un sistema, hacen la evaluación individual de cada elemento técnicamente imposible, ofreciendo como única opción, utilizar herramientas estadísticas que concluyen en una predicción probabilística (Santos, 2012).

Los sistemas complejos están constituidos por diversas entidades interconectadas entre sí, que generan información oculta al observador; a partir de estas interacciones/relaciones desde los elementos que estructuran el sistema, surgen nuevas propiedades difíciles de comprender desde los elementos aislados, a este tipo de relaciones se les conoce como emergentes en medio de un equilibrio dinámico que le aporta una gran inestabilidad (Palacio & Ochoa, 2011). Para Clark & Jacques, (2012) la complejidad se considera una propiedad muchas veces intangible de algunos sistemas, está caracterizada por una saturación de factores dominantes y numerosas interdependencias mutuas que dificultan su configuración estructural. Las funciones multipropósito del ganado y la biodiversidad en los cultivos mixtos, hacen de los sistemas agropecuarios una secuencia de confusas relaciones entre componentes biológicos, técnicos y sociales que requieren un enfoque de sistema para optimizar el uso de recursos (Kaasschieter, De Jong, Schiere & Zwart, 1992).

Desde inicios del siglo XX, la perspectiva compleja aplicada al análisis de sistemas agropecuarios (naturalmente adaptativos) para comprender las actividades que mueven a la humanidad, ha sido crucial, de hecho, existen grupos científicos especializados en estudiar los componentes que definen el sistema complejo, y afirman que generalmente hay elementos dinámicos que dificultan su control, por tanto, la investigación aplicada en los sistemas complejos es cada vez más importante en las ciencias naturales y sociales (Hall & Clark, 2010; Yang, Na, Li, Li & Zhong, 2018).

Thomas, Prasad & Mathew, (2016) comentan que la complejidad de un sistema está definida por el número y naturaleza de sus partes, las cuales se conectan de manera no regular, donde las interconexiones suelen ser insuficientes, pero a su vez tan conectadas que realizan una función con objetivo único común, que no puede ser logrado individualmente por cada entidad. Para Díaz-Mata, (2012); Nesheim et al. (2015) y Turner & Baker, (2019) un sistema complejo es una agrupación de entes asociados en alguna interdependencia regular, sin un control central, con reglas simples para operar, donde las interacciones conducen hacia nuevos estados emergentes que lo hacen dinámico, cuyos elementos heterogéneos no se pueden analizar fácilmente por separado, pues las interacciones van evolucionando dentro de su entorno a través del tiempo, una dinámica típica de la configuración actual del sistema alimentario.

Así mismo Motloch, (2017) explica que la complejidad se alcanza cuando los agentes estructurales del sistema, exponen un comportamiento difícil de describir al detalle, asumiendo con esto, que ha logrado un nivel de abstracción superior, indicando que a mayor complejidad entre las rutas o ciclos durante la retroalimentación, se evidencian redes de interacción dinámica difíciles de ordenar en sincronía, tal y como ocurre con los sistemas biológicos y sociales, ambos considerados complejos como la humanidad y sus sistemas tecnológicos inteligentes.

La teoría de la complejidad está dirigida a cada subconjunto sistémico, donde las variaciones que experimenta cada entidad pueden llegar a situaciones no predecibles y, los mínimos cambios en las condiciones iniciales, generarían impactos irregulares en los valores esperados del sistema; este subconjunto estructural va co-evolucionando mediante la dinámica, interacciones y retroalimentaciones que definen el carácter heterogéneo de sus componentes; en tal sentido, los agricultores se enfrentan a inevitables compensaciones entre eficiencia y adaptabilidad en búsqueda de la sostenibilidad económica, social y ecológica de las granjas por sus características de adaptación, dinamismo y complejidad (González, 2009; Darnhofer, Bellon, Dedieu & Milestad, 2010; Turner & Baker, 2019).

La naturaleza dinámica de un sistema supone que todos sus componentes estructurados e identificados a través de modelos, es decir, el cuerpo de información relativa a un sistema para ser evaluado, conservan los principios de interacción, considerando que cada elemento se enfrenta a un entorno nuevo debido al comportamiento cambiante de los otros elementos que proporcionan estímulos, y así, la conducta gregaria del sistema se ajusta a las interacciones simultáneas que se van generando; dichas interconexiones aseguran que todo estímulo endógeno o exógeno del sistema, ejerce un impacto sobre su eficiencia entre el sistema y su entorno, pues nada es estático donde los efectos de cualquier acción varía aleatoriamente, cambia y evoluciona constantemente (Jagustović et al. 2019).

Los ecosistemas naturales que han sido modificados para la producción de alimentos o agroecosistemas, muestran propiedades como la no linealidad e incertidumbre que naturalmente exhiben características emergentes difícilmente explicables con una simple suma de componentes interactuantes; todo sistema donde las entidades compitan, cooperen o interfieran entre sí, son un sistema complejo (Fisher & Pruitt, 2020).

Los sistemas de producción agropecuaria son multidimensionales, interactúan bajo complejas redes interconectadas que influyen directamente sobre la sostenibilidad del proceso primario generador de alimentos; al respecto, la sostenibilidad económica, social y ecológica de las granjas, amerita ampliar la perspectiva bajo la cual se evalúan tradicionalmente los sistemas agrarios; se busca integrar diversos puntos de vista que fortalezcan el principio dinámico y de adaptabilidad que caracteriza a los sistemas complejos, porque al comprender la capacidad del predio por ser adaptativo, se incrementa el nivel de desafío por desarrollar métodos que capturen una aproximación realista de la dinámica del sistema, y así, lograr analizar los atributos de las granjas para adaptarse (Walters et al. 2016).

Westthorp, (2012) comenta que la teoría compleja como una filosofía realista de la ciencia, asume la realidad bajo un enfoque de sistema abierto, anidado y múltiple en el que los cambios generadores de información dependen del contexto y son irreversibles en el tiempo; esta afirmación se ajusta al concepto de dinamismo complejo del sistema agropecuario que discuten McConnell & Dilion, (1997); Pérez & Razz, (2009) y Nicholson, Peixoto, LaPierre & Van Amburgh, (2019) cuando se refieren al sistema agropecuario como una secuencia dinámica de componentes por su determinación, apertura y propiedades estocásticas que aseguran sus cambios con el tiempo, donde el movimiento del sistema es dialéctico, por lo que cada producto de cambio evolutivo en el sistema, resulta del encadenamiento de procesos, es decir, existe continuidad de fases que surgen unas de otras, convirtiendo la granja en un sistema abierto donde sus componentes conservan un flujo constante de relaciones con el entorno.

Para determinar la más acertada aproximación del nivel de sostenibilidad en las prácticas agropecuarias, es importante llevar a cabo evaluaciones holísticas que hagan comprender las interacciones dinámicas entre productividad, economía, sociedad y ambiente; es indiscutible que existe un sinfín de dificultades relacionadas con alcanzar el mayor grado de sostenibilidad según la escala o tamaño de la granja, por esta razón, evaluar integralmente qué tan sostenible resultan los sistemas agrarios, es una de las conclusiones científicas que fomentan la proyección de mejores políticas, programas y prácticas que garanticen la sostenibilidad en la economía rural, pero como se ha discutido, la sostenibilidad es un asunto de sistemas complejos que abordan atributos multidimensionales en sus entidades (Talukder, Blay-Palmer, Van Loon & Hipel, 2020).

3. Sostenibilidad en medio de la complejidad del sistema agroalimentario

Ante el cambio climático que avanza rápidamente, la pérdida de biodiversidad y la escasez hídrica, se ha propuesto un nuevo paradigma para las actividades comerciales del ámbito rural; diversos enfoques científico-metodológicos orientados hacia la intensificación

sostenible del campo para obtener alimentos sanos, se reportan regularmente, principalmente todo lo relacionado con promover prácticas agrícolas razonables que satisfagan las crecientes necesidades alimentarias del hombre, al tiempo que contribuyan a la resiliencia y sostenibilidad del entorno; este cambio de modelo productivo, tiene como objetivo, reposicionar la agricultura de su papel actual como el principal impulsor del calentamiento global, para convertirse en un patrón de sostenibilidad autogestionable (Rockström et al. 2017).

En la actualidad existen diferentes modelos alternativos de sistemas agropecuarios que son ejemplo de sostenibilidad en sus dimensiones: económica, social, ambiental y biológica, tal y como ocurre con los agroecosistemas mixtos, inclusión de áreas protegidas, ganadería silvopastoril, entre otros casos piloto de productividad rural; todos ellos caracterizados por su gran potencial para mejorar los estándares de desarrollo sostenible, facilitando la conciliación entre eficiencia biológica con biodiversidad, ecología del paisaje y el desarrollo económico local (Muñoz-Rojas, Pinto-Correia, Hvarregaard & Noe, 2019).

Estos sistemas naturales, basados en interacciones biológicas y modificados por el hombre para abastecerse de alimentos a mayor escala, están superpuestos por sistemas socioeconómicos que forman parte del dinamismo propio de la agricultura a través de muchas dimensiones, creando importantes retos analíticos a los investigadores del área (Ruben, Verhagen & Plaisier, 2019). Ideas alternativas por una producción de alimentos más amigable con el ambiente y a su vez, favorablemente eficientes, surgen constantemente; los mismos agricultores han desarrollado gran parte de las medidas e ideas innovadoras que aprovechan al máximo las bondades de adaptación y sostenibilidad que caracterizan a los complejos agroecosistemas (Darnhofer et al. 2010; Singh, Dwivedi, Singh & Tripathy, 2014).

La complejidad de los sistemas se manifiesta como redes articuladas que generan intercambio de información y energía entre sus interconexiones bajo un patrón no lineal de

causas y efectos, que se crean en un marco de aleatoriedad entre conexiones. En vista de que los agroecosistemas siguen una estructura compleja, un pequeño cambio en algún parámetro puede ocasionar un efecto desastroso entre los subsistemas interconectados, debido a la incapacidad por predecir el impacto de este cambio sobre los productos finales del sistema, sólo se pueden establecer predicciones sobre bases conceptuales ya documentadas u observadas; es en este punto donde los sistemas se consideran insostenibles, pues las causas están motivando efectos no esperados, condicionando la sostenibilidad, un aspecto crucial cuando se desea alcanzar rendimientos superiores a lo esperado con un consumo reducido de recursos (Thomas et al. 2016).

Los fundamentos teóricos centrales de la sostenibilidad, como campo de investigación y disciplina, evolucionan frecuentemente con una clara dirección: alcanzar en nombre de las futuras generaciones, compatibilidad entre el ambiente y los procesos económicos globales, asumiendo la complejidad como la característica principal de los agroecosistemas a través de la teoría general de sistemas (TGS), permitiendo diseñar nuevos sistemas de interacción fácilmente evaluables mediante indicadores de carácter instrumental (Kammerbauer, 2001).

Los sistemas agrícolas experimentan una reorganización constante que les permite desarrollar la capacidad para adaptarse al cambio, esta característica ha despertado el interés por crear métodos que faciliten al productor agropecuario, capturar la dinámica de su sistema y analizar sobre qué puntos críticos fortalecer o controlar para ser más eficiente, dejando en evidencia la naturaleza sistémica de las interacciones que requieren enfoques de sistemas, así como herramientas prácticas para evaluaciones integradas (Allen & Prospero, 2016); a su vez desde la teoría de la complejidad, el cambio de comportamiento en pro de un sistema sostenible, describe esencialmente cómo los campesinos o productores, grupos y redes ciudadanas, influyen sobre la respuesta colectiva a nivel de sistema, por cambios sociales que resultan de la auto-organización e incluso, adopción científica (Peter & Swilling, 2014).

Los agrosistemas en medio de su complejidad, deben considerar futuras investigaciones para mejorar y determinar el nivel de sostenibilidad de forma concreta, tomando en cuenta que una serie de factores como tipo de sistema, especies y zonas de vida con variedadde climas, culturas y condiciones socioeconómicas pueden hacer inoperativa cualquier idea de abordaje; entre tanto, son muchos los casos documentados donde se pretendeestudiar este tipo de problema mediante estrictos modelos cuantitativos, sin embargo, las situaciones imprevistas de la no perfección de los sistemas vivos, siempre se presenta y, en consecuencia, cualquier modelo no aplica para el análisis; de igual forma, el uso de métricas aplicadas para evaluar sostenibilidad, también se ve influenciado por decisiones sobre qué indicador es más importante o apropiado, el hecho de ignorar algunos detalles como los riesgos, crea desafíos importantes para hacer que los problemas asociados con sostenibilidad sean más fáciles de resolver, solo el análisis de diferentes sistemas agropecuarios permite introducir los métodos más precisos para seleccionar los indicadores que proyecten el escenario más acertado sobre el nivel de sostenibilidad, a partir del cual sea posible efectuar una evaluación integral que fortalezca el principio holístico de la TGS aplicada en sistemas complejos como la granja. Para gran parte de los investigadores del tema, la incorporación de enfoques cuantitativos sobre los abordajes participativos (dialógico) puede ayudar a solventar elementos confusos sobre sostenibilidad al involucrar partes interesadas en la toma de decisiones (NRC, 2015; Cruz et al. 2018).

La investigación en ciencias del agro puede contribuir a las evaluaciones de sostenibilidad al proporcionar datos que reducen la incertidumbre sobre las causas y efectos subyacentes que definen a los riesgos; por ello los indicadores utilizados para cuantificar la sustentabilidad deben incluir un enfoque siempre holístico, realista, participativo y sistémico, ya que la objetividad y reduccionismo no es viable por el efecto lógico circular; pero optar por la solución técnica más acertada, implica aumentar la participación de los interesados y reconocer la relevancia que representa la toma de decisiones que no solo se trata deeducar al público, por lo que la participación científica-fenomenológica para afrontar estos problemas complejos, conducirá a consolidar la investigación sobre sostenibilidad agraria y una transferencia de tecnología relevante y consecuenteorientada en crear

modelos y definir métricas que pueden capturar la verdadera naturaleza de cualquier sistema complejo del mundo real (Gutiérrez-Cedillo, Aguilera-Gómez & González-Esquivel, 2008; NRC, 2015; Thomas et al. 2016).

Los sistemas de producción logran los mejores niveles de sostenibilidad cuando se comprende mediante herramientas prácticas y analíticas cuáles son los factores de producción que afectan de forma determinante el proceso productivo y con esta información es posible seleccionar el protocolo metodológico más apropiado para utilizar, y así poder pronosticar y controlar los eventos que se desarrollan dentro de la complejidad de un agrosistema (Cotes-Torres & Cotes-Torres, 2005).

4. Teoría general de sistemas y producción agropecuaria

La investigación agropecuaria, y en gran medida los propios agricultores, ven la agricultura como una forma de tecnología; es común observar diversos cultivos y rebaños, cada uno con características naturalmente propias que, en términos instrumentales, son más eficientes o menos productivos en diferentes zonas agroecológicas, por esta razón, la ciencia del campo rural plantea desafíos metodológicos para la filosofía tecnológica que merecen ser evaluados por derecho propio (Thompson, 2009).

La filosofía de la tecnología tiene sus raíces, por un lado, en el conocimiento de la naturaleza y, por otro, en las características genéricas de la especie humana, una herramienta descrita como neutral, construida racionalmente para atender a las necesidades humanas y ampliar sus facultades; igualmente admite reflexionar sobre la racionalidad moderna, al considerar la tecnología como autónoma y humanamente controlable, que ofrece al productor agropecuario una visión de conjunto o sistema dinámico de fácil adaptación e intervención, en pro de su eficiencia gracias a las cualidades evolutivas que caracterizan a los sistemas complejos (Feenberg, 2006).

La teoría general de sistemas (TGS) concebida originalmente para explicar fenómenos biológicos, es un método desarrollado y aplicado regularmente desde 1954 por

muchas disciplinas científicas para describir sistemas homeostáticos, es decir, procesos controlados por retroalimentación, cuyos elementos, atributos, interacciones, límites y resultados, permiten -una vez identificado el problema, los subsistemas y el ambiente- evaluar integralmente la dinámica del sistema en busca del equilibrio sostenido (Laszlo & Krippner, 1998; Schneider, 2015). La TGS parte de la filosofía natural, el precursor de lo que hoy se conoce como ciencia natural, consolidada como rama especializada de estudio gracias a la experimentación, más allá de la observación, especulación y lógica; es por ello que un marco transdisciplinario para la descripción y análisis de cualquier sistema, hace posible crear una matriz conceptual y metodológica orientada a la búsqueda de respuestas y rigor del pensamiento, guiado en la mayoría de casos, por indicadores o valores específicos; por tal motivo, los métodos reduccionistas de las ciencias clásicas deben complementarse con la visión holística del análisis de sistemas para proyectar la realidad (Laszlo, 1978; Méndez, 2015).

Previo al desarrollo del pensamiento sistémico en los años cincuenta, los enfoques convencionales utilizados para comprender, explicar y dar respuesta a las interrogantes sobre situaciones desconocidas en la época, se reducían a describir los elementos básicos del fenómeno y analizarlo por partes de forma aislada (reduccionismo); igualmente se incluía la práctica del mecanicismo, el cual consistía en explicar mediante relaciones causa-efecto, el planteamiento hipotético que solucionaba parcialmente el problema original; pero con la TGS, se demostró que el comportamiento del sistema no es totalmente deducible, su éxito lo asegura la participación humana, el contexto social y su entorno, de otra manera no es posible alcanzar en concreto los objetivos del sistema (Villamil, 2004; Mazzocchi, 2006).

El paradigma sistémico sugiere un replanteamiento de la visión sobre las interconexiones entre elementos propios del sistema, que busquen la ejecución de procesos innovadores y regenerativos para mejorar la calidad de vida entre las personas y el agroecosistema, para ello, es propicio crear nuevas formas de conocimiento, asumir la crítica y aceptar la complejidad e incluso el caos, como punto de partida para desarrollar

estrategias de aprendizaje que sean capaces de sobrellevar eficientemente las tan complejas dimensiones que definen la sostenibilidad agrícola dejando a un lado lo convencional, dependiente exclusivamente de tradicionalismos prácticos y mejor aún, promover la nueva ciencia sobre praxis compleja (Bawden, 1991).

Pouvreau, (2014) discute dos perspectivas documentadas que han marcado la evolución metodológica para el análisis de sistemas; en primer lugar resalta el hecho de puntualizar el propósito científico, los objetivos teóricos y la relación ciencia-conocimiento bajo un enfoque primordialmente abstracto; en segundo término, destaca la importancia por constituir un componente metodológico basado en teorías numéricas demostrativas aplicadas en el sistema; al respecto Pérez & Razz, (2009) afirman que la TGS pretende desarrollar ideas que encuentren soluciones demostrables a la realidad empírica, considera al hombre como un ser funcional y le asigna especial relevancia a su desempeño, convirtiéndose la TGS en una alternativa epistemológica válida para abordar el tema agroalimentario, y que permite comprender que no es solo la producción primaria y sus múltiples interacciones, sino que la comercialización y procesamiento industrial, incrementan aún más las variables a controlar para su optimización.

Por su parte, la teoría de la complejidad como una filosofía realista de la ciencia, asume la realidad como un sistema abierto, anidado y múltiple, donde los cambios regularmente no son predecibles debido a las interacciones que se ajustan al contexto o la dinámica natural del sistema; es así como el enfoque realista se considera el más apropiado para evaluar sistemas complejos (Westhorp, 2012). Sin embargo Midgley, (2008) y Soler, (2017) comentan que las investigaciones sobre sistemas complejos, implican comprender diferentes procesos fundados en hipótesis que se van registrando consecuentemente mientras el sistema se encuentra operativo y, solo una perspectiva conjunta entre TGS y complejidad, conciben la realidad como un gran sistema, donde las entidades e interacciones crean una realidad distinta, semejante a la de una gran red; razón por la cual, el observador debe suprimir la visión fragmentada propia del reduccionismo, y aceptar las técnicas científicas de observación como un método de intervención, que incluye la

interpretación de datos numéricos sin pretender alcanzar la perfección lineal del sistema; de esta manera es útil una acción intencional de análisis a favor de un cambio, donde la complejidad y la TGS, permiten construir nuevos modelos y formas alternativas de una epistemología transversal gracias a la capacidad de resistencia y atributos que hacen a los sistemas agropecuarios robustos, adaptables y transformables, tal y como lo demostraron Meuwissen et al. (2019) al utilizar indicadores de control para medir el desempeño funcional del sistema estudiado.

El desarrollo rural a través de los sistemas económicos proveedores de alimentos, requiere la integración de múltiples objetivos en simultáneo; para ello, los productores e investigadores del campo se valen de toda información empírica, pues proporciona datos valiosos desde sus experiencias, las cuales resultan clave para intervenir todo sistema, y así, priorizar prácticas concretas que favorezcan la sostenibilidad de los predios, de esta manera, la observación se convierte en la principal herramienta de intervención en busca del desarrollo local sostenible como aporte a los debates científicos (Steinke et al. 2019).

Para Maturana, (1997) es importante considerar desde la óptica metodológica que, en la mayoría de casos, la observación a priori se convierte en una limitante para validar científicamente los datos obtenidos o su análisis, tomando en cuenta que adoptar conocimientos a los que se llega por la razón, sin experimentación, no son del todo racionales (imaginar algo sin fundamento de soporte), por lo que es necesario ampliar el concepto de reproducibilidad que demanda la realidad, la cual por ser bastante natural, no es una experiencia, sino un argumento en una explicación, puesto que nunca puede ser exactamente lo que imagina el investigador.

El trabajo de Espina-Prieto, (2007) revela que estudiar en detalle los fundamentos teóricos-epistémicos que estructuran el sistema, y aceptar la realidad como compleja en el sistema productivo, es la forma más apropiada de construir conocimiento y prácticas de cambio. Villamil, (2004) revela que experiencias en grandes sistemas económicos por su multidimensionalidad, defienden la idea de fragmentar o delimitar los procesos del sistema

para profundizar sucesivamente en su manejo correctivo, ya que por evitar el mecanicismo y reduccionismo, se cae en otros campos donde el principio de la totalidad ignora la parte; sin embargo Westthorp, (2012) expone que los estudios integradores y dinámicos implican la mayor simplicidad pero la complejidad necesaria en su análisis, aun valiéndose de diferentes enfoques que permitan comprender los mismos fenómenos desde diversas perspectivas; pero Laszlo, (1978); Briceño et al. (2010) y Talukder et al. (2020) son enfáticos al promover el abordaje de lo real, que consiste en proveer una imagen holística de los factores y sus interrelaciones dentro del sistema, de manera que sea posible tomar en cuenta el conjunto completo, sin reducciones ni partes aisladas, pues a menudo es contraproducente reducir conceptos y principios en sistemas complejos; no se trata de comprender las partes, sino entender el todo a partir de las interacciones.

La interacción entre las variables del sistema permanecen tan interconectadas entre sí, que en el intercambio causa-efecto se genera una “lógica circular” y se comprende al detallar o analizar que las propiedades primarias del sistema derivan de las interacciones entre sus partes (Skyttner, 2005); por tanto, se considera una característica propia del pensamiento sistémico, ofrece una comprensión de la realidad construida por consenso en un sentido fenomenológico, que involucra al observador como centro de la observación, quien al alcanzar un nivel de análisis instrumental precisaindicadores cuantitativos mediante el uso de técnicas estadísticas y matemáticas que le faciliten anular toda acción subjetiva, sin dejar a un lado el complemento humano de la epistemología reflexiva (Vidal, 2013).

Existe mucho conocimiento sobre los factores filosóficos, teóricos y participativos que influyen en la adopción de nuevas prácticas en la producción sostenible de alimentos basado en la TGS, pero resulta interesante tomar en cuenta el trabajo presentado por Turner & Baker, (2019) quienes dejan claro, que la teoría de sistemas ha sido cuestionada en la literatura reciente por evidenciarse separación estricta entre sujeto y objeto de investigación, así como la disociación que se percibe de los actuales enfoques metodológicos cargados de incógnitas dinámicas que difícilmente se pueden controlar o

evaluar, razón por la cual sugieren adoptar la teoría de la complejidad y los nuevos métodos que aborden mejor la complejidad y los sistemas abiertos para construir modelos predictivos cuantitativos para quienes planean la investigación, el desarrollo, las políticas agrícolas y abordajes sociales.

El pensamiento analítico lineal solo ha logrado que cada ciencia haga estudios por separado, sin considerar la opción de integralidad entre las partes formadoras de sistemas complejos, dejando a un lado las influencias que otras disciplinas tienen sobre el sistema, por ello el pensamiento complejo busca rescatar la integridad del análisis moderno basado en conocimiento comprobable, es decir, construido a partir de información que se puede obtener de forma independiente bajo un procedimiento de acción científicamente riguroso, pero flexible, considerando que cada acción del sistema se determina mediante el producto de la etapa anterior lo que resulta en autonomía, dialógica y comprueba que la parte es diferente del todo, pero a su vez representa al todo, la esencia es el todo y también una parte, la lógica compleja de los sistemas vivos, como el agroecosistema, donde se confrontan diferentes conocimientos en la búsqueda de alternativas para su desarrollo y sostenibilidad (Silva-Neto, 2007; Palacio & Ochoa, 2011).

5. Método científico aplicado al estudio de la sostenibilidad agropecuaria

El creciente interés por promover agroecosistemas sostenibles, parte desde un enfoque conceptual, del cual surgen diversas herramientas prácticas que crean esquemas metodológicos de evaluación holística e integral para comprender los sistemas agrícolas del futuro. Todas las definiciones sobre producción sostenible de alimentos incluyen la productividad, inocuidad de sus productos, uso racional de recursos, calidad de vida y conservación del ambiente; sin embargo, aún no hay un consenso sobre una estandarización formal de protocolos para cuantificar la sostenibilidad agrícola y, consolidar la definición unificada de desarrollo sostenible, pues la complejidad que envuelve el término de sostenibilidad, incluye elementos ambiguos difíciles de regularizar en un entorno científico tradicional, pero que pueden resultar más útiles que los conceptos teóricos debido a la

condición multivariable, flexible e impredecible de los sistemas biológicos (Velten et al. 2015; Lampridi et al. 2019).

En el mundo biológico, todos los elementos permanecen activos y en un estado de continuo cambio, a raíz de esto, se consideran sistemas complejos predecibles a corto plazo, mas no a largo plazo, porque siempre hay elementos de incertidumbre válidos en un amplio espectro de escalas (Velten et al. 2015); se trata de una condición conceptual que parece no ser compatible con la propiedad temporal que poseen los sistemas sostenibles, al respecto Neef & Neubert, (2011) comentan que la forma de abordar los problemas de sostenibilidad en el sector agrícola, debe involucrar a las partes interesadas, más allá del dominio de la ciencia pura, por lo que es necesario plantear una discusión estructurada sobre el potencial y limitantes que poseen los enfoques participativos de manera que puedan integrarse con éxito en la práctica investigativa.

La reciente escalada del desarrollo rural para hacer frente al interés social por conocer el nivel de sostenibilidad de las prácticas agrícolas y su repercusión sobre la calidad de los alimentos, representa un desafío científico en el mundo moderno, donde la experimentación a cargo de los agricultores siempre ha sido orientada desde la acción, es decir, tienen como objetivo principal, ejecutar técnicas con efectos prácticos deseables con la combinación de dos o más métodos que finalmente tienden a concluir en juicios intuitivos, son ensayos que buscan descubrir si es posible aplicar alguna intervención al sistema para lograr un propósito práctico específico; una idea muy distante del experimento epistémico, cuyo objetivo es aportar información sobre el funcionamiento del sistema, generando elementos que permitan el uso de demostraciones explicativas u otros planes epistémicos (verificación), aumentar el acervo de conocimiento; entre tanto, los científicos agrícolas apuntan a estrategias metodológicas muy genéricas, por ejemplo, nuevas formas para cultivar variedades vegetales no convencionales o técnicas de trabajo que funcionan bien al menos en toda una región, lo cual amerita repensar la vía para hallar la respuesta científica más acertada que solvente interrogantes propias de la investigación agrícola en pro de su sostenibilidad (Hansson, 2019).

Los nuevos esfuerzos en investigación agrícola sostenible no se tratan solo de explicar la TGS a través del estudio de las interacciones entre las partes, sino proporcionar una base epistemológica para atravesar las disciplinas tradicionales y relacionar el pensamiento científico, que da origen a diferentes perspectivas metodológicas, entre ellas, la dinámica de sistemas, la cual explicada mediante indicadores cuantitativos proporciona una sólida base teórica para mejorar la comprensión y abordar los problemas complejos (Shi, 2004).

Un método de análisis es el examen crítico y registro lógico de las formas existentes y propuestas para desarrollar un diseño metodológico robusto (Babu, 2012), igualmente Otzen, Manterola, Rodríguez-Núñez & García-Domínez, (2017) conceptualizan el método como una serie de etapas analíticas, que conducen al establecimiento de una conclusión sustentada en la verificación de una hipótesis. Para Bunge, (2017) toda incógnita por resolver implica un conjunto de métodos especiales que estén teóricamente justificados sin restringir el interés investigativo por una sistematicidad de reglas. Un sistema de normas basado en la lógica y leyes naturales sin vacío de conocimiento, se conoce como método científico, un rasgo característico de la ciencia, el cual puede complementarse con otras técnicas especiales adaptadas a las características de cada problema, pudiendo perfeccionarse a través análisis directo, donde existe una posibilidad razonable de que las conclusiones planteadas sean verdaderas y puedan generalizarse (Figura 2).

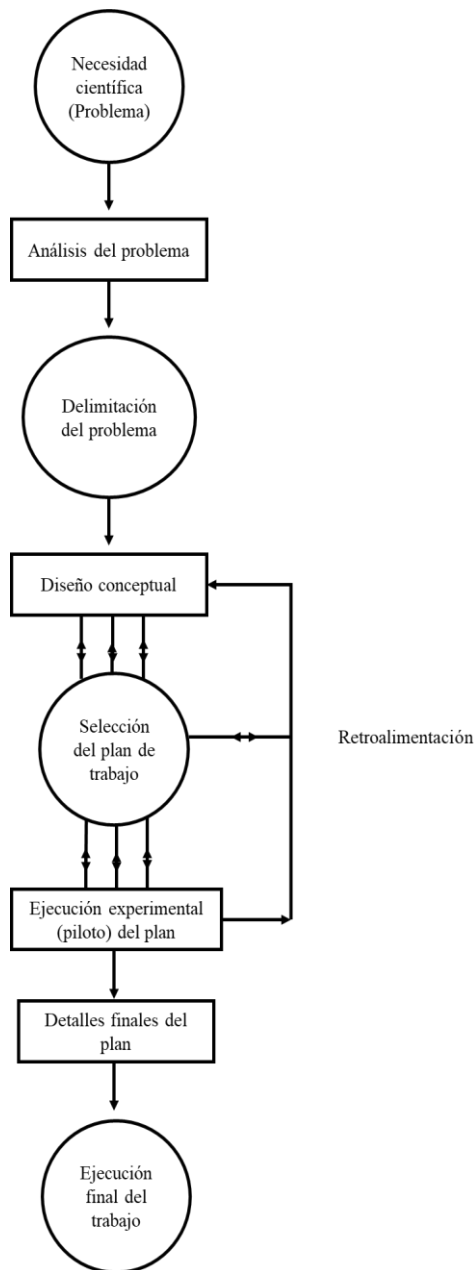


Figura 2: Dinámica del pensamiento científico bajo un modelo conceptual estructurado (Wynn &Clarkson, 2018).

La investigación es un proceso sistemático encaminado a la producción de conocimiento mediante la solución de problemas que exige al investigador llevar a cabo la mejor práctica (metodología) que lo conduzca a la consecución de sus objetivos (De Sousa, 2015). A pesar de que el método general de la ciencia o método científico es una opción flexible para solventar interrogantes de investigación, cada teoría del conocimiento (epistemología) posee su propio ajuste a los típicos pasos estructurados del método científico, lo cual según Tobi & Kampen, (2018) hace al proceso de investigación potencialmente más creativo bajo un enfoque basado en procesos, que permite combinar métodos (estudio de caso, métodos mixtos) para desarrollar pesquisas de diferente magnitud y complejidad, como los multifacéticos problemas asociados a la sostenibilidad, seguridad alimentaria y salud mundial, los cuales ameritan una detallada operacionalización de conceptos y su transformación en indicadores observables; por tal razón De Sousa, (2015) es enfático al señalar que la epistemología lleva al investigador al método y no al contrario, pues el creador de conocimiento debe ajustar su teoría conceptual al método más apropiado.

Existe un método científico generalmente válido, el hipotético-deductivo, que consiste en estudiar una explicación propuesta de fenómenos (hipótesis) generalmente empíricos, es decir, a partir de información recolectada desde la observación sistémica o

experimentación, que seguidamente incluye la clasificación e interpretación de datos (Castillo, 2013; Bahadur, 2014).

Es común notar cierta incompatibilidad entre la definición y aplicación básica del método científico y el actual enfoque generalizado e integrador que ofrece resultados de mayor impacto para el desarrollo de los pueblos en materia de sostenibilidad agrícola; típicamente según las consideraciones teóricas expuestas por Ruíz, (2006) el método científicose basa en principios mecanicistas, cargados de rigurosidad, que para poder ser comprendido, es ineludible descomponer en orden cada parte, obviando la apertura a nuevos episteme que bien pueden surgir durante la investigación, sin tomar en cuenta la naturaleza dinámica del conocimiento científico, al cual Nunez-Moscoso, (2019) lo asocia a lalógica de la ciencia, que en gran medida es una lógica hipotética, donde la hipótesis, tiene ciertas consecuencias comprobables que deben dar lugar a algún resultado o establecer una situación empírica importante de observar; por ello, el razonamiento científico no responde a una regla teórica absoluta, sino a un estricto proceso de deducción que excluye la imaginación y aseveraciones intuitivas como parte de sus hallazgos.

La amplia variedad de perspectivas metodológicas disponibles en la literatura para evaluar y cuantificar el nivel de sostenibilidad en sistemas agropecuarios, ha creado algunos inconvenientes prácticos cuando se quiere alcanzar una estandarización del protocolo, pues la naturaleza temporal de la sostenibilidad repercute negativamente sobre el desarrollo de enfoques mediante una herramienta que involucre investigadores y agricultores, haciendo del aporte campesino, un complemento del conocimiento científico tradicional, logrando así, la caracterización del sistema según los principios conceptuales de sostenibilidad (Cruz et al. 2018).

Algunas herramientas de monitoreo en las granjasse basan en ladefinición de índice indicadores control, que implica la selección de varios métodos fundados en reportes o registros documentados por experiencias previasque conocen la dinámica del sistema agropecuario durante las etapas que lo dinamizan. El desarrollo de indicadores compuestos

(es decir, la asignación de puntaje a un conjunto de indicadores) se considera como el enfoque único para evaluar el desarrollo sostenible (Cruz et al. 2018). En este sentido, es posible implantar los escenarios basados en modelos que discuten Van & Hof, (2018) los cuales permiten evaluar posibles cambios necesarios en el sistema para cumplir los objetivos biológicos, económicos, sociales y ecológicos que sustentan el desarrollo sostenible; al evaluar el probable efecto de estas modificaciones, el productor estaría preparado para enfrentar cualquier emergencia en su predio. Entre los escenarios se encuentra el exploratorio, que precisa crear proyecciones sobre diferentes indicadores de sostenibilidad a medida que transcurre el tiempo; por otra parte es posible considerar el escenario de referencia, donde el productor toma en cuenta para su análisis, métricas y políticas dirigidas; finalmente el escenario normativo guiado por el método científico, donde se acuerda un conjunto de objetivos futuros, mientras se emplea el modelo que incluya los antecedentes y proyecciones que durante un tiempo específico haga viable alcanzar la meta (Figura 3).

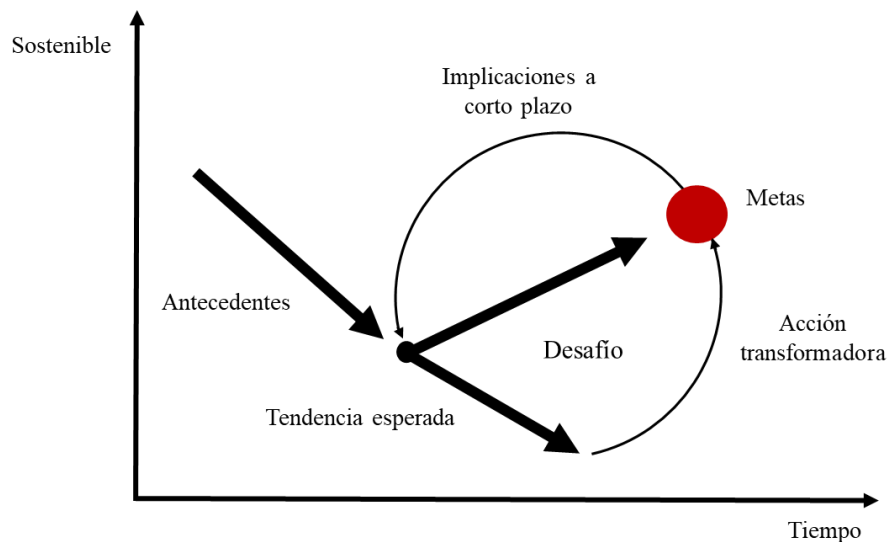


Figura 3: Escenario de análisis y acción sistémica frente a un esquema normativo (método científico) en evaluaciones de sostenibilidad que ameritan la combinación de argumentos para explorar los cambios necesarios que permitan lograr los objetivos originales del sistema (Van & Hof, 2018).

Para Falvey, (2020) la sostenibilidad se considera una filosofía propia del sujeto debido a su participación en las dimensiones económica, social y ambiental, por lo que es preciso comprender todo tipo de interacciones y procesos de retroalimentación entre los sistemas humanos y el agroecosistema como enfoque alternativo que permita crear un análisis efectivo, apoyando la idea compartida por Santibáñez, (2016) al referenciar que la ciencia debe ser un cuerpo de conocimiento sistemático, tomando la lógica como ingrediente básico del pensamiento racional.

Los sistemas complejos procuran técnicas formales de verificación que discriminen los razonamientos válidos de los no válidos, y con análisis matemático, comprender su correcto funcionamiento (Platzer, 2010). El uso de indicadores compuestos (índices) se considera un enfoque importante para evaluar el desarrollo sostenible así como los escenarios basados en modelos, estos indicadores, son herramientas pragmáticas que se utilizan para abreviar en medio de la complejidad, los eventos dinámicos que identifica a todo sistema complejo mediante tres funciones: simplificar, cuantificar y comunicarse fácilmente (Cruz et al. 2018; Van & Hof, 2018). Sin embargo la profundidad filosófica de muchos investigadores de las disciplinas no naturales, critican sobre las discrepancias en la concepción del método científico con respecto al entorno que se estudia; al parecer es limitado en su diseño y los resultados que genera son alejados de la realidad, pero la incursión del nuevo paradigma de investigación científica asociado a la filosofía del análisis de datos numéricos, hoy juegan un papel crucial en el estudio cuantitativo de las llamadas no ciencias (Castillo, 2013; Liu, 2014).

Para finalizar, es claro que la ciencia y tecnología en la agricultura ha avanzado rápidamente en el último medio siglo, aun así, las ciencias agropecuarias enfrentan problemas difíciles de abordar por su complejidad y alcance social; es importante dar a conocer a los investigadores natos, que el método científico estructurado y para muchos rígido, permite adaptar conceptos propios de las ciencias básicas a la solución de problemas rurales con solo incluir un esquema elaborado bajo pensamiento científico, que tome en cuenta la experiencia del productor apoyada con el análisis de indicadores que

definan el nivel de sostenibilidad; es necesario comprender, que todo trabajo científico, por muy confuso o sencillo que resulte, requiere reflexiones metodológicas que lleven al investigador a seleccionar el mejor método, su propio método, sin vacío científico, bajo leyes naturales que lo sustente; en este caso, el nuevo enfoque metodológico cuantitativo propuesto con índices e indicadores, apunta a ser la estrategia metodológica más acertada para calcular la tan preciada sostenibilidad a nivel de granja, así, la afirmación de Boon & Doorman, (1994) sigue vigente: para ahondar el desafío de la sostenibilidad se necesitan nuevos paradigmas y formas de creatividad interdisciplinaria.

6. Reflexiones sobre el método y la teoría de la complejidad aplicadas al estudio de sistemas agropecuarios sostenibles

Para Bocheński, (1965) el método es la manera de proceder para descubrir la verdad y sistematizar los conocimientos en cualquier disciplina, es decir, organiza toda actividad programada para alcanzar los objetivos planteados desde una incógnita (problema); por tanto, el método se refiere a la forma en que se recopila y analizan los datos, mientras que la metodología es la teoría del método. Ahora bien, ¿el método busca descubrir la verdad?, ¿a qué verdad se refiere el autor?, ¿cuál es la verdad en la ciencia? Está documentado que los filósofos por amor al conocimiento para tratar de comprender la naturaleza de la verdad, afirman que la creencia se hace realidad por la presencia en algún lugar del universo, de cosas, eventos o hechos que soportan una declaración, se trata del estudio de lo que es real, de cómo funciona realmente el mundo; sin embargo este concepto es uno de los más importantes y muy discutido en toda la filosofía, porque hay diferentes tipos de verdad (científica, étnica, religiosa) y diversas prácticas para abordarla (observación, revelación), donde las ideas llegan a ser ciertas cuando se comprueban resultados semejantes entre experiencias con otras partes, que a través de teorías conceptuales explican o argumentan el fenómeno.

La verdad se puede hallar desde alguna característica de la realidad, hasta que haya evidencia que indique lo contrario, de manera que las hipótesis sean generadas desde la

razón y no del ideal, de lo contrario Vidal, (2013) comenta que la verdad se convierte en una vivencia subjetiva sobre la visión del mundo, ya que la verdad absoluta no existe y quien busca la verdad lo hace desde la ignorancia, un estado indeseable, consciente de que el conocimiento objetivo de lo real es imposible de alcanzar, pues se utilizan métodos pragmáticos con la certeza de que, una vez concluido el protocolo investigativo, podrá dar respuesta a las interrogantes iniciales y solucionar de forma parcial o total el problema planteado mediante afirmaciones de verdad, que según Chakracarty & Van Fraassen, (2018) son parte del realismo científico, pero se trata de hipótesis, supuestos y explicaciones propias, donde las pruebas no son más que propuestas de explicación, una posición donde Carman, (2005) es enfático al afirmar que, los elementos teóricos pertenecen al mismo campo de realidad que los elementos observables, en otras palabras, las entidades teóricas son reales; pero la repetitividad o reproducibilidad efectiva del método garantiza, en gran medida la certeza de una declaración.

La realidad observada desde la experiencia puede caracterizar de innumerables maneras, permitiendo distinguir ciencia y especulación bajo la observación empírica, de donde se abstrae la evidencia que nutre la verdad del fenómeno en el espacio real (Fields, 2018). Por lo visto, abordar el concepto de verdad en la ciencia puede resultar confuso, porque la verdad es cuestionable en todo momento, independientemente del método utilizado para hallarla, pero toda práctica filosófica busca la verdad, cada científico, toda persona e incluso la sociedad quiere la verdad, su verdad, aquella que justifique una realidad mayormente tangible, con evidencia; por tanto la elección de una metodología en busca de la verdad, es difícil y debe basarse en las convicciones, experiencias e intereses del investigador.

Los principios filosóficos en la investigación son pragmáticos. La amplia diversidad de metodologías válidas para hallar la verdad, debe ajustarse a la naturaleza de cada objetivo planteado para concluir en una afirmación demostrable según el problema de investigación, por ello, la adopción de diversos paradigmas (positivistas e interpretativos), métodos y tendencias filosóficas como el empirismo y el racionalismo, que a pesar de sus

diferencias conceptuales, son consideradas por Popper, (1975) como las fuentes legítimas del conocimiento.

Alcanzar la verdad no es tarea fácil, puede percibirse sin dificultad cuando se debate; solo puede utilizarse los sentidos y razonar correctamente, puesto que el racionalismo asume que la verdad se obtiene solo con la razón antes que la experiencia sensorial, pero resulta que no todo el conocimiento es producto del razonamiento y, se requiere de ideas que puedan ser medidas o verificadas, tomando en cuenta que siempre existe la posibilidad de refutar un teorema por alguna experiencia, de esta manera, es posible afirmar que temas complejos como el análisis de agroecosistemas sostenibles se evalúan a través de diversas posiciones teóricas, métodos de investigación, contextos y entornos científicos, valiéndose del razonamiento lógico, la construcción de teorías, observaciones propias del método adoptado y experiencias que revelen datos clave para cada pregunta de investigación planteada; por tanto, ninguna corriente filosófica en su máximo grado de originalidad única, puede resolver problemas sobre sostenibilidad, de ahí el uso de múltiples estrategias e ideas.

Para la elección de un protocolo de investigación, los objetivos, el enfoque epistemológico y la forma particular mediante la cual el investigador hace uso del método científico, dejando a un lado los principios del naturalismo, es crucial para evaluar la complejidad de un sistema agropecuario sostenible; en este punto Moran, (2008) comenta que la visión fenomenológica es la corriente filosófica que enfrenta radicalmente de forma crítica al naturalismo por interpretar la conciencia como parte del mundo y, que todo hecho lo da por sentado e indiscutiblemente obvio, cuando el objeto de la ciencia es encontrar leyes que rijan la realidad, donde el individuo se considere como otro objeto de la naturaleza.

Con el propósito de ubicar en orden las ideas generadas desde el conocimiento científico, la fenomenología en conjunto con la teoría de la complejidad, proporcionan una guía teórica al investigador para comprender los fenómenos bajo una realidad subjetiva

basada en evidencias, por ejemplo, el uso de indicadores de control para determinar el grado de sostenibilidad en sistemas agrícolas o pecuarios, en donde la recolección de los datos iniciales en un momento específico puede llegar a interferir sobre el valor encontrado, pero el principio de aleatorización y repetitividad le brinda robustez científica, haciendo de los indicadores portadores de verdad, tal y como lo referenció David, (2004).

La teoría de la complejidad aborda sistemas no lineales como los agrosistemas, que exhiben un comportamiento emergente, autoorganizado y adaptativo que requiere de leyes teóricas para justificar la actitud natural de sus componentes; se trata de teorías predictivas, formuladas a partir de la verificación previa de enunciados simples o reduccionistas que se consideran ciertos; de allí parte el fundamento filosófico que se aborda en el presente material bibliográfico, caracterizado por una ontología realista del neopositivismo, sobre una base empírico-observacional, y un episteme válido sólo si se ajusta a un método de verificación analítico siguiendo una metodología atomista bajo visión holística, dos aproximaciones excluyentes al razonamiento basado en evidencias, pero que en la práctica de análisis sistémico, no representa una amenaza al método científico, pues el holismo dada su particularidad de análisis multidimensional, permite comprender los procesos, así como la integración funcional de los componentes que conforman el sistema, mientras que la concepción atomista expone la relevancia individual de cada elemento operativo, creando una especie de hibridismo entre corrientes del pensamiento, donde una cubre las debilidades de la otra.

Para analizar sistemas agropecuarios sostenibles, es necesario que el investigador tenga claro que la evaluación perfecta es imposible de alcanzar; por lo tanto es importante reforzar la visión holística que permita integrar la dimensión ecológica, económica y social que estructuran el concepto de sostenibilidad. Implementar un marco metodológico para su estudio, involucra una carga considerable de información compleja que debe ser reducida sistemáticamente en forma de índices e indicadores (portadores de verdad) que incorporen simultáneamente los atributos o dimensiones de la sostenibilidad en el proceso productivo de una granja; este método basado en referenciales cuantificables, se considera la mejor

opción de análisis moderno que sustentan Lebacqz, Bare & Stilmant (2013); Bonneau et al. (2014); Cândido, Nóbrega, Martins & Souto (2015) y Cruz et al. (2018) en sus experiencias de campo, considerando la practicidad y relevancia que representa concentrar tal grado de complejidad en una serie de datos comparables y medibles, que no solo facilitan el análisis por parte del investigador, sino que favorece al productor que desee conocer qué tan sostenible es su sistema de producción en un momento específico, permitiéndole tomar la mejor decisión.

7. Conclusión

Los sistemas agrícolas son naturalmente complejos debido a las múltiples interacciones que simultáneamente se llevan a cabo en todos los niveles de organización del predio, su propósito es obtener productos alimenticios que abastezcan la creciente demanda nutricional. El interés social por consumir alimentos sanos, ha despertado en los últimos años, el requerimiento de transformar la operatividad tradicional de las granjas a favor de la eficiencia biológica, prácticas agrícolas amigables con el ambiente, rentabilidad positiva y respeto social, en otras palabras, unidades de producción sostenibles, de manera que las futuras generaciones tengan la oportunidad de acceder a productos agrícolas sin menoscabar la integridad ambiental y su seguridad alimentaria. En función de lo expuesto, es determinante manejar protocolos metodológicos que permitan monitorear con disciplina la dinámica del sistema agropecuario, de forma que sea posible realizar los ajustes prácticos en el momento indicado; para ello, es primordial que los científicos agrícolas tengan claro que las diferentes preguntas de investigación, abordan diversos métodos y metodologías que bien pueden ajustarse a los principios conceptuales del método científico hipotético-deductivo, sin dejar a un lado el conocimiento empírico que ofrece el productor con sus experiencias y los reportes bibliográficos, ambos aportes, enriquecen significativamente las matrices de datos que se han de generar durante evaluaciones de sostenibilidad, debido a que, para determinar cuán sostenible es una granja, se requiere la construcción de índices cuantitativos sencillos mediante el uso de indicadores control, una metodología que engloba los fundamentos teóricos de la complejidad, teoría general de sistemas y visión holística, como la opción de análisis más acertada para determinar el nivel de sostenibilidad en un

sistema agropecuario particular, por tanto, resulta válido considerar diferentes enfoques filosóficos que no sean delimitadores, además que permitan conciliar filosofía, metodología y el problema de investigación, dejando claro que la autonomía científica se justifica porque promueve el progreso de la ciencia, lo que beneficia a la sociedad.

- **Referencias bibliográficas**

- **Allen, T., &Prosperi, P. (2016).** Modeling sustainable food systems. *Environment. Managem. 57*: 956-975.
- **Arnés-García, M., Yagüe, J., De Nicolás, V., & Díaz-Puente, J. (2020).** Characterization of Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS) in Europe. *Sustainability,12*(1611): 24 pp. doi: 10.3390/su12041611
- **Babu, R. (2012).** *Industrial engineering in apparel production. Chapter 3: Method analysis* (pp. 29-45). New Delhi: Woodhead Publishing India. doi: 10.1533/9780857095541.29
- **Bahadur, R. (2014).** Research procedure: an introduction. *J. NELTA Surkhet, 4*: 34-40.
- **Bawden, R. (1991).** Systems thinking and practice in agriculture. *J. Dairy Sci. 74*:2362-2373. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78410-5
- **Beddington, J., Asaduzzaman, M., Clark, M., Fernández, A., Guillou, M., Jahn, M.,...Wakhungu, J. (2012).** The role for scientists in tackling food insecurity and climate change. *Agriculture & Food Security, 1*(10): 1-9. doi: 10.1186/2048-7010-1-10
- **Bocheński, J.** *The methods of contemporary thought* (pp. 9-22). Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-94-010-3578-1.
- **Bockstaller, C., Feschet, P., &Angevin, F. (2015).** Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators. *OCL, 22*(1): D102. doi: 10.1051/ocl/2014052
- **Bonneau, M., De Greef, K., Brinkman, D., Cinar, M., Dourmad, J., Edge, H.,...Edwards, S. (2014).** Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming

systems: the procedure, the evaluated systems and the evaluation tools. *Animal*, 8(12): 2011-2015. doi: 10.1017/S1751731114002110

- **Boon, M., & Doorman, S. (1994).** Virtues and values in science. En: Dutch Committee for Long-Term Environmental Policy (Ed.), *The environment: towards a sustainable future* (pp. 467-496). Netherlands: Springer-Science + Business Media, B.V. doi: 10.1007/978-94-011-0808-9
- **Briceño, J., Cañizales, B., Rivas, Y., Lobo, H., Moreno, E., Velásquez, I., & Ruzza, I. (2010).** La holística y su articulación con la generación de teorías. *Educere*, 14(48): 73-83.
- **Bunge, M. (2017).** El planteamiento científico. *Rev. Cub. Salud Pública*, 43(3): 1-29.
- **Cândido, G., Nóbrega, M., Martins, M., & Souto, M. (2015).** Avaliação da sustentabilidade de unidades de produção agroecológicas: um estudo comparativo dos métodos idea e mesmis. *Ambiente & Sociedade*, XVIII(3), 99-120.
- **Carbone, A., Jensen, M., & Sato, A. (2016).** Challenges in data science: a complex systems perspective. *Chaos, Solitons and Fractals*, 90: 1-7. doi: 10.1016/j.chaos.2016.04.020
- **Carman, C. (2005).** “Realismo científico” se dice de muchas maneras, al menos de 1111: una elucidación del término “realismo científico”. *Scientiae Studia*, 3(1): 43-64.
- **Castillo, M. (2013).** The scientific method: a need for something better? *Am. J. Neuroradiol.*, 34: 1669-1673. doi: 10.3174/ajnr.A3401
- **Chakravartty, A., & Van Fraassen, B. (2018).** What is scientific realism? *Spontaneous Generations*, 9(1): 12-25. doi: 10.4245/sponge.v9i1.26992.
- **Clark, J., & Jacques, D. (2012).** Practical measurement of complexity in dynamic systems. *Procedia Comput. Sci.* 8: 14-21.
- **Cole, M., Augustin, M., Robertson, M., & Manners, J. (2018).** The science of food security. *npj Sci. Food*, 2(14): 1-8. doi: 10.1038/s41538-018-0021-9
- **Cotes-Torres, A., & Cotes-Torres, J. (2005).** El problema de la sostenibilidad dentro de la complejidad de los sistemas de producción agropecuarios. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 58(2): 2813-2825.

- **Cruz, J.; Mena, Y., & Rodríguez-Estévez, V. (2018).** Methodologies for assessing sustainability in farming systems. En S. Gokten. (Ed.), *Sustainability assessment and reporting* (pp. 33-58). London,Uk: IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.79220
- **Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B., & Milestad, R. (2010).** Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 30: 545-555. doi: 10.1051/agro/2009053
- **David, M. (2004).** Theories of truth. En: I. Niiniluoto, M. Sintonen, J. Woleński. (Eds.), *Handbook of epistemology* (pp. 331-414). Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-1986-9_9
- **De Olde, E., & Valentinov, V. (2019).** The moral complexity of agriculture: a challenge for corporate social responsibility. *J. Agricult. Environment. Eth.* 32: 413-430. doi: 10.1007/s10806-019-09782-3
- **De Sousa, M. (2015).** Methodological reflections on practice-based research in organization studies. *Braz. Adm. Rev.*, 12(3): 309-323.
- **Díaz-Mata, A. (2012).** Tres aproximaciones a la complejidad. *Contaduría y Administración*, 57(1): 241-264.
- **Diéguez, A. (2005).** Realismo y antirrealismo en la filosofía de la biología. *LudusVitalis*, XIII(23): 49-71.
- **El Bilali, H. (2019).** The multi-level perspective in research on sustainability transitions in agriculture and food systems: a systematic review. *Agriculture*, 9(74): 1-24.doi:10.3390/agriculture9040074
- **Espina-Prieto, M. (2007).** Complejidad, transdisciplina y metodología de la investigación social. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 12(38): 29-43.
- **Falvey, L. (2020).** *Agriculture & philosophy: agricultural science in philosophy* (pp. 44-59).Songkhla: ThaksinUniversityPress.
- **FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., **OPS.** Organización Panamericana de la Salud., **WFP.** Programa Mundial de Alimentos.,& **UNICEF.** Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2019). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2019.* En:

https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51685/9789251319581FAO_spa.pdf?sequence=6&isAllowed=y

- **Feenberg, A. (2006).** What is philosophy of technology? En: J.R. Dakers. (Ed.), *Defining Technological Literacy* (pp. 5-16). New York: Palgrave Macmillan. doi: doi.org/10.1057/9781403983053_2
- **Fields, C. (2018).** Sciences of observation. *Philosophies*, 3, 29: 1-25 doi: 10.3390/philosophies3040029
- **Fisher, D., & Pruitt, J. (2020).** Insights from the study of complex systems for the ecology and evolution of animal populations. *Current Zoology*, 66(1): 1–14. doi: 10.1093/cz/zoz016
- **Foran, T., Butler, J., Williams, L., Wanjura, W., Hall, A., Carter, L., & Carberry, P. (2014).** Taking complexity in food systems seriously: an interdisciplinary analysis. *World Development* 61: 85–101. doi:10.1016/j.worlddev.2014.03.023
- **Gamboa, G., Kovacic, Z., Di Masso, M., Mingorría, S., Gomiero, T., Rivera-Ferré, M. & Giampietro, M. (2016).** The complexity of food systems: defining relevant attributes and indicators for the evaluation of food supply chains in Spain. *Sustainability*, 8(515): 1-23. doi: 10.3390/su8060515
- **Gaviglio, A., Bertocchi, M. & Demartini, E. (2017).** A tool for the sustainability assessment of farms: selection, adaptation and use of indicators for an Italian case study. *Resources*, 6(60): 1-21. doi: 10.3390/resources6040060
- **González, J. (2009).** La teoría de la complejidad. *Dyna*, 76(157): 243-245.
- **Gutiérrez-Cedillo, J., Aguilera-Gómez, L., & González-Esquivel, C. (2008).** Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*, 15(46): 51-87.
- **Hall, A., & Clark, N. (2010).** What do complex adaptive systems look like and what are the implications for innovation policy? *J. Int. Dev.* 22: 308-324. doi: 10.1002/jid.1690
- **Hammond, R., & Dubé, L. (2012).** A systems science perspective and transdisciplinary models for food and nutrition security. *PNAS*, 109(31): 12356-12363. doi: 10.1073/pnas.0913003109

- **Hansson, S. (2019).** Farmers' experiments and scientific methodology. *Eur. J. Philos. Sci.*9(32): 1-23. doi: 10.1007/s13194-019-0255-7
- **Hatfield, J., Antle, J., Garrett, K., Izaurralde, R., Mader, T., Marshall, E.,...Ziska, L. (2018).** Indicators of climate change in agricultural systems. *Clim Chang*, 14 pp. doi: 10.1007/s10584-018-2222-2
- **Iosifides, T. (2017).** Against "Migration": using critical realism as a framework for conducting mixed-method, migrantization research. *J. Critical Realism*, 16(2): 128-142. doi:10.1080/14767430.2017.1280283
- **Jagustović, R., Zougmore, R., Kessler, A., Ritsema, C., Keesstra, S., & Reynolds, M. (2019).** Contribution of systems thinking and complex adaptive system attributes to sustainable food production: example from a climate-smart village. *Agricult. Syst.* 171: 65-75. doi: 10.1016/j.agry.2018.12.008
- **Jones, J., Antle, J., Basso, B., Boote, K., Conant, R., Foster, I.,...Wheeler, T. (2016).** Brief history of agricultural systems modeling. *Agri. Sci.*155:240-254. doi: 10.1016/j.agry.2016.05.014
- **Jones, J., Antle, J., Basso, B., Boote, K., Conant, R., Foster, I.,...Wheeler, T. (2017).** Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: state of agricultural systems science. *Agri. Sci.*155:269-288. doi: 10.1016/j.agry.2016.09.021
- **Kaasschieter, G., De Jong, R., Schiere, J., & Zwart, D. (1992).** Towards a sustainable livestock production in developing countries and the importance of animal health strategy therein. *Vet. Q.* 14(2): 66-75. doi: 10.1080/01652176.1992.9694333
- **Kammerbauer, J. (2001).** Las dimensiones de la sostenibilidad: fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos. *Interciencia*, 26(8): 353-359.
- **Lampridi, M., Sørensen, C., & Bochtis, D. (2019).** Agricultural sustainability: a review of concepts and methods. *Sustainability*, 11(5120): 27 pp. doi:10.3390/su11185120
- **Laszlo, A., & Krippner, S. (1998).** Systems theories: their origins, foundations, and development. En: J.S. Jordan. (Ed.), *Systems theories and a priori aspects of*

- perception* (pp. 47-74). Holanda: North-Holland Publishing Company. doi: 10.1016/s0166-4115(98)80017-4
- **Laszlo, E. (1978).** Systems philosophy. *Ultimate Reality and Meaning*, 1(3): 223-230. doi: 10.3138/uram.1.3.223
 - **Lebacqz, T., Baret, P., & Stilmant, D. (2013).** Sustainability indicators for livestock farming: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 311-327. doi: 10.1007/s13593-012-0121-x
 - **Liu, H. (2014).** Philosophical reflections on data. *Procedia Computer Sci.* 30: 60-65. doi: 10.1016/j.procs.2014.05.381
 - **Maturana, H. (1997).** *La objetividad: un argumento para obligar*. Santiago: Dolmen Ediciones S.A.
 - **Mazzocchi, F. (2006).** Western science and traditional knowledge: despite their variations, different forms of knowledge can learn from each other. *EMBO Rep.*, 7(5): 463-466.
 - **McConnell, D., & Dillon, J. (1997).** *Farm management for Asia: a systems approach*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
 - **Meijer, S., Catacutan, D., Ajayi, O., Sileshi, G., & Nieuwenhuis, M. (2014).** The role of knowledge, attitudes and perceptions in the uptake of agricultural and agroforestry innovations among smallholder farmers in sub-Saharan Africa. *Intern. J. Agricul. Sustainability*, 13(1): 40-54. doi: 10.1080/14735903.2014.912493
 - **Méndez, F. (2015).** Transdiscipline and research in health: science, society and decision making. *Colomb. Med.*, 46(3): 128-134.
 - **Meuwissen, M., Feindt, P., Spiegel, A., Termeer, C., Mathijs, E., De Mey, Y.,...Reidsma, P. (2019).** A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricul. Syst.* 176:1-10. doi: 10.1016/j.agsy.2019.102656
 - **Midgley, G. (2008).** Systems thinking, complexity and the philosophy of science. *E:CO*, 10(4): 55-73.
 - **Moran, D. (2008).** Husserl's transcendental philosophy and the critique of naturalism. *ContPhilos Rev* 41: 401-425. doi: 10.1007/s11007-008-9088-3

- **Motloch, J. (2017).** Unlocking complexity: bit science project and research agenda. En G. Rzeski & C. Brebbia. (Eds.), *Complex systems: theory and applications* (pp. 81-90). Southampton-UK: Witpress. doi: 10.2495/DNE-V11-N4-563-572
- **Muñoz-Rojas, J., Pinto-Correia, T., Hvarregaard, M, & Noe, E. (2019).** The Portuguese *Montado*: a complex system under tension between different land use management paradigms. En: F. Allende-Álvarez. (Ed.), *Silvicultures: management and conservation* (pp. 1-20). London UK: IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.86102
- **Neef, A., & Neubert, D. (2011).** Stakeholder participation in agricultural research projects: a conceptual framework for reflection and decision-making. *Agric. Hum. Values*, 28: 179-194. doi:10.1007/s10460-010-9272-z
- **Nesheim, M., Oria, M. & Yih, P. (2015).** *A framework for assessing effects of the food system*. Washington, D.C., EEUU: The National Academies of Sciences.
- **Nicholson, C., Peixoto, A., LaPierre, P., & Van Amburgh, M. (2019).** Modeling complex problems with system dynamics: applications in animal agriculture. *J. Anim. Sci.* 97: 1903-1920. doi: 10.1093/jas/skz105
- **NRC. National Research Council. (2015).** *Critical role of animal science research in food security and sustainability*. Washington: TheNationalAcademiesPress.
- **Nunez-Moscoso, J. (2019).** Razonamiento abductivo: una contribución a la creación del conocimiento en educación. *Cadernos de Pesquisa*, 49(171): 308-329. doi: 10.1590/198053145255
- **Otzen, T., Manterola, C., Rodríguez-Núñez, I., & García-Domínguez, M. (2017).** La necesidad de aplicar el método científico en investigación clínica. Problemas, beneficios y factibilidad del desarrollo de protocolos de investigación. *Int. J. Morphol.*, 35(3): 1031-1036. doi: 10.4067/S0717-95022017000300035
- **Palacio, C., & Ochoa, F. (2011).** Complejidad: una introducción. *Ciênc. saúdecoletiva*, 16(supl.1):831-836. doi: 10.1590/S1413-81232011000700014
- **Parra, J. (2016).** Realismo crítico: una alternativa en el análisis social. *Sociedad y economía*, 31: 215-238.
- **Pérez, J., & Razz, R. (2009).** La teoría general de los sistemas y su aplicación en el estudio de la seguridad agroalimentaria. *Rev. Cienc. Soc.*, 15(3): 486-498.

- **Peter, C., & Swilling, M. (2014).** Linking complexity and sustainability theories: implications for modeling sustainability transitions. *Sustainability*, 6: 1594-1622. doi: 10.3390/su6031594
- **Pignuoli-Ocampo, S. (2019).** La superación de la antinomia entre realismo y constructivismo en Luhmann y Bhaskar: hacia una fundación paradójica del conocimiento científico. *Rev. Inter. Sociol.*, 77(1): 1-14. doi: 10.3989/ris.2019.77.1.17.159.
- **Platzer, A. (2010).** *Logical analysis of hybrid systems: proving theorems for complex dynamics*. Berlín: Springer.
- **Popper, K. (1975).** *Conhecimento objetivo: uma abordagem evolucionária*. São Paulo: Edusp.
- **Pouvreau, D. (2014).** On the history of Ludwig von Bertalanffy's "general systemology", and on its relationship to cybernetics - Part II: contexts and developments of the systemological hermeneutics instigated by von Bertalanffy. *Intern. J. Gen. Syst.*, 43(2): 172-245. doi: 10.1080/03081079.2014.883743
- **Pretty, J. (2008).** Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 363: 447-465. doi:10.1098/rstb.2007.2163
- **Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L.,...Smith, J. (2017).** Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46:4-17. doi: 10.1007/s13280-016-0793-6
- **Ruben, R., Verhagen, J., & Plaisier, C. (2019).** The challenge of food systems research: what difference does it make? *Sustainability*, 11(1), 171: 1-14. doi: 10.3390/su11010171
- **Ruíz, R. (2006).** *Historia y evolución del pensamiento científico*. Ciudad de México, DF.: Grupo Patria Cultural, S.A.
- **Ruiz, R., & Oregui, L. (2001).** El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. *Invest. Agr. Prod. Sanid. Anim.* 16(1): 29-61.
- **Rycroft-Malone, J., McCormack, B., Hutchinson, A., DeCorby, K., Bucknall, T., Kent, B.,...Wilson, V. (2012).** Realist synthesis: illustrating the method for implementation research. *Implement. Sci.* 7(33): 1-10.

- **Santibáñez, D. (2016).** Sobre el surgimiento de la ciencia en Grecia: transmisión y asimilación griega del saber técnico del mundo oriental. *Rev. HistoriasdelOrbisTerrarum*, 16: 91-106.
- **Santos, G.** Philosophy and complexity. *Found Sci.*, 18(4): 681-686. doi: 10.1007/s10699-012-9321-8.
- **Schneider, M. (2015).** Motivational development, systems theory of. En J. Wright. (Ed.), *International Encyclopedia of the social & behavioral sciences* (pp. 946-950). Amsterdam: Elsevier Ltd. doi: 10.1016/b978-0-08-097086-8.23027-4
- **Shi, T. (2004).** Applying a holistic approach to agricultural sustainability research: a methodological synthesis of ecological economics and system dynamics. *J. Interdiscip. Econ.*, 16(1): 77-93. doi: 10.1177/02601079X04001600106
- **Silva-Neto, B. (2007).** Análise-diagnóstico de sistemas agrários: uma interpretação baseada na teoria da complexidade e no realismo crítico. *Desenvolvimento em Questão*, 5(9): 33-58.
- **Singh, R., Dwivedi, B., Singh, A., & Thripathy, S. (2014).** Farmers' knowledge and creativity in eco-friendly pest management: Lessons in sustainable agriculture. *Indian J. Tradit. Know.* 13(3): 574-581.
- **Skyttner, L. (2005).** *General Systems Theory: problems, perspectives and practice*. (2nd. Ed.). Danvers, MA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Soler, Y. (2017). Teorías sobre los sistemas complejos. *Rev. Adm. Desarro.* 47(2): 52-69.
- **Steinke, J., Mgililoko, M., Graef, F., Hammond, J., Van Wijk, M., & Van Etten, J. (2019).** Prioritizing options for multi-objective agricultural development through the positive deviance approach. *PLoS ONE* 14(2): e0212926. doi: 10.1371/journal.pone.0212926
- **Talukder, B., & Blay-Palmer, A. (2017).** Comparison of methods to assess agricultural sustainability. En: E. Lichtfouse. (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews Volume 25* (pp. 148-168). New York-EEUU: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-58679-3_5

- **Talukder, B., Blay-Palmer, A., Van Loon, G., & Hipel, K. (2020).** Towards complexity of agricultural sustainability assessment: main issues and concerns. *J. Environ. Sustain.* Available online. doi: 10.1016/j.indic.2020.100038
- **Thomas, C., Prasad, R., & Mathew, M. (2016).** Introduction to complex systems, sustainability and innovation. En C. Thomas (Ed.), *Complex systems, sustainability and innovation* (pp.1-19). London UK: IntechOpen. doi: 10.5772/66453
- **Thompson, P. (2009).** Philosophy of agricultural technology. En: A. Meijers (Ed.), *Philosophy of technology and engineering sciences* (pp. 1257-1273). North Holland: Elsevier B.V. doi: 10.1016/B978-0-444-51667-1.50048-3
- **Thrall, P., Bever, J., & Burdon, J. (2010).** Evolutionary change in agriculture: the past, present and future. *Evol. Appl.*, 3: 405-408.
- **Tobi, H., & Kampen, J. (2018).** Research design: the methodology for interdisciplinary research framework. *Qual. Quant.*, 52: 1209-1225. doi: 10.1007/s11135-017-0513-8
- **Tomich, T., Lidder, P., Coley, M., Gollin, D., Meinzen-Dick, R., Webb, P., & Carberry, P. (2019).** Food and agricultural innovation pathways for prosperity. *Agricultural Systems*, 172: 1-15. doi: 10.1016/j.agsy.2018.01.002
- **Turner, J., & Baker, R. (2019).** Complexity theory: an overview with potential applications for the social sciences. *Systems*, 7(1): 1-22. doi: 10.3390/systems7010004
- **Van, D., & Hof, A. (2018).** Integrated assessment modelling approaches to analysing systemic change. En: European Environment Agency (Ed.), *Perspectives on transitions to sustainability* (118-136). Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- **Vasconcellos, A., & Azevedo, L. (2018).** Segurança alimentar e nutricional: uma análise da situação da descentralização de sua política pública nacional. *Cad. Saúde Pública*, 34(2): e00206816. doi: 10.1590/0102-311X00206816
- **Velten, S., Leventon, J., Jager, N., & Newig, J. (2015).** What Is Sustainable Agriculture? a systematic review. *Sustainability*, 7: 7833-7865. doi: 10.3390/su7067833.

- **Vidal, J. (2013).** La búsqueda de la realidad o de la verdad: una aproximación a partir de la teoría sociológica. *Cinta moebio*, 47: 95-114. doi: 10.4067/S0717-554X2013000200004
- **Villamil, J. (2004).** Reflexiones sobre sistema, teoría de sistemas y pensamiento sistémico. *Rev. Cient. Tecnol.* 9(2): 28-34.
- **Walters, J., Archer, D., Sassenrath, G., Hendrickson, J., Hanson, J., Halloran, J.,...Alarcon, V. (2016).** Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. *Ecol. Model.* 333: 51-65. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2016.04.015
- **Westhorp, G. (2012).** Using complexity-consistent theory for evaluating complex systems. *Evaluation*, 18(4): 405-420. doi: 10.1177/1356389012460963
- **Wynn, D., & Clarkson, P. (2018).** Process models in design and development. *Res. Eng. Design.* 29: 161-202. doi:10.1007/s00163-017-0262-7
- **Xie, H., Huang, Y., Chen, Q., Zhang, Y. & Wu, Q. (2019).** Prospects for agricultural sustainable intensification: a review of research. *Land*,8(157): 27 pp. doi:10.3390/land8110157
- **Yang, C., Na, J., Li, G., Li, Y., & Zhong, J. (2018).** Neural network for complex systems: theory and applications. *Complexity*, ID 3141805: 1-2. doi: 10.1155/2018/3141805
- **Zamora, I. (2017).** Constructivismo y realismo crítico en los conflictos ambientales. *Acta Sociológica*, 73: 273-294.