

El pensamiento sistémico del Ingeniero de Sistemas en la investigación territorial

Kay David Arenas Díaz¹

Resumen

Este artículo de reflexión analiza el aporte del perfil analítico del ingeniero de sistemas en procesos de investigación territorial aplicada, a partir de una estancia académica desarrollada en el municipio de Pasto, departamento de Nariño. El objetivo es examinar cómo el pensamiento sistémico, la estructuración metodológica y la integración tecnológica pueden fortalecer iniciativas agrícolas sostenibles y proyectos comunitarios con impacto social. Se adopta un enfoque analítico-reflexivo, fundamentado en la observación en campo del uso de drones como apoyo a los agricultores en labores de riego y fumigación, así como en el análisis de métodos de sensores para la captura de información del terreno. La reflexión evidencia que la Ingeniería de Sistemas aporta una visión estructurada del territorio como sistema complejo, permitiendo identificar cómo la tecnología, el saber académico interdisciplinario y el conocimiento local pueden articularse en una misma práctica productiva. Se concluye que esta articulación fortalece la investigación aplicada con sentido ético y transformador, ampliando el rol del ingeniero como agente de desarrollo sostenible.

Palabras clave: sistemas complejos, digitalización agrícola, optimización de procesos, sostenibilidad rural, innovación tecnológica, impacto social.

Abstract

This reflection article analyzes the contribution of the analytical profile of Systems Engineering to applied territorial research processes, based on an academic research stay carried out in the municipality of Pasto, department of Nariño. The objective is to examine how systems thinking, methodological structuring, and technological integration can strengthen sustainable agricultural initiatives and community-based projects with social impact. An analytical-reflective approach was adopted, grounded in field observation of the use of drones as support for farmers in irrigation and pest-control tasks, as well as in the analysis of sensor-based methods for capturing information

¹ Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Correo electrónico: davidarenaskd@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0464-6204>. Colombia.

about the terrain. The reflection demonstrates that Systems Engineering provides a structured perspective of the territory as a complex system, enabling the identification of how technology, interdisciplinary academic knowledge, and local knowledge can be articulated within a single productive practice. It is concluded that this articulation enhances applied research with ethical and transformative meaning, expanding the role of the engineer as an agent of sustainable development.

Keywords: complex systems, agricultural digitalization, process optimization, rural sustainability, technological innovation, social impact.

Introducción

La investigación territorial aplicada se ha consolidado como un escenario estratégico para la articulación entre conocimiento académico y realidades comunitarias, especialmente en contextos rurales donde convergen dinámicas productivas, sociales y ambientales complejas. En estos entornos, el territorio no puede entenderse como un espacio aislado, sino como un sistema complejo en el que interactúan múltiples variables interdependientes, tales como prácticas agrícolas, recursos naturales, saberes locales y procesos tecnológicos emergentes.

Esta perspectiva se hizo tangible para mí durante una estancia de investigación en el municipio de Pasto (Nariño), donde tuve la oportunidad de observar de cerca el uso de drones como apoyo a los agricultores en labores de riego y fumigación. Lo que inicialmente esperaba encontrar era un caso más de “modernización tecnológica del campo”; sin embargo, el escenario resultó más complejo: los insumos que distribuían estos drones eran recetas caseras de insecticida, elaboradas y validadas por un equipo interdisciplinario de docentes de Ingeniería Ambiental, Zootecnia y Agronomía. Esa combinación —tecnología de punta al servicio de un saber artesanal, articulada

por tres disciplinas trabajando juntas— es el punto de partida real de esta reflexión.

El objetivo de este artículo es reflexionar críticamente sobre el aporte del perfil analítico del ingeniero de sistemas en procesos de investigación territorial aplicada, a partir de esta experiencia concreta, destacando su capacidad para comprender el territorio como un sistema complejo susceptible de optimización tecnológica sostenible. A partir de un enfoque analítico–reflexivo fundamentado en lo observado en Pasto, se propone demostrar cómo la integración entre tecnología, saber local e interdisciplinariedad académica fortalece iniciativas agrícolas y proyectos comunitarios con impacto social.

Antecedentes

La relación entre tecnología, desarrollo rural e investigación territorial ha sido abordada desde múltiples perspectivas académicas en las últimas décadas. En el ámbito teórico, el pensamiento sistémico propuesto por Peter Senge (1990) plantea que los sistemas sociales y productivos deben analizarse a partir de sus interrelaciones y dinámicas estructurales, superando enfoques lineales y fragmentados. Esta perspectiva ha sido aplicada progresivamente al análisis del territorio, reconociéndolo como un sistema complejo donde convergen factores económicos, ambientales y socioculturales.

En el campo de la digitalización agrícola, la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2018) ha destacado el potencial de las tecnologías digitales para mejorar la productividad, la eficiencia en el uso de recursos y la resiliencia de los sistemas alimentarios. Sin embargo, la literatura también advierte que la implementación tecnológica en contextos rurales presenta desafíos relacionados con acceso, capacitación y sostenibilidad económica, lo cual demanda enfoques integrales y contextualizados.

González et al. (2016) documentan justamente este tipo de aplicación en el contexto colombiano, mostrando cómo los drones permiten evaluar cultivos de forma virtual y detectar problemas fitosanitarios de manera temprana.

Por su parte, los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por la UN (United Nations [UN], 2015) enfatizan la necesidad de promover innovación responsable, producción sostenible y reducción de desigualdades territoriales. En este marco, la investigación aplicada en territorio adquiere relevancia como mecanismo para articular conocimiento académico y transformación social.

A nivel nacional, diversos estudios sobre desarrollo rural en Colombia han resaltado la importancia de integrar saberes locales con herramientas tecnológicas, evitando modelos de intervención descontextualizados. No obstante, persiste un vacío alrededor del análisis específico del rol de la Ingeniería de Sistemas en procesos de investigación territorial aplicada, especialmente desde una perspectiva reflexiva que articule pensamiento sistémico, digitalización agrícola y sostenibilidad rural. Mi propia experiencia en el municipio de Pasto (Nariño) me mostró precisamente ese vacío en la práctica: existía tecnología (drones, sensores), existía saber académico (Ingeniería Ambiental, Zootecnia, Agronomía) y existía saber local, pero nadie desde la Ingeniería de Sistemas estaba articulando esas piezas de forma estructurada.

En este contexto, el presente artículo aporta una reflexión situada, construida a partir de esa experiencia concreta en campo, que contribuye a ampliar la comprensión del ingeniero como actor estratégico en la transformación territorial, integrando teoría sistémica y experiencia práctica.

Desarrollo

El territorio como sistema complejo: fundamentos teóricos y experiencia práctica

Desde la teoría de los sistemas complejos, el territorio rural puede comprenderse como un entramado dinámico de interacciones sociales, ambientales, económicas y tecnológicas. Según Peter Senge (1990), el pensamiento sistémico permite identificar patrones, relaciones de interdependencia y estructuras subyacentes que determinan el comportamiento de un sistema.

Aunque antes de ir a Pasto esta idea me parecía bastante abstracta, se volvió concreta cuando vi que el mismo cultivo delimitado por una cerca era, al mismo tiempo, el objeto de trabajo de tres disciplinas distintas: Ingeniería Ambiental, Zootecnia y Agronomía, cada una aportando algo distinto a la receta que finalmente cargaba el dron. Ninguna de esas disciplinas por separado explicaba lo que estaba pasando en ese terreno; solo tenía sentido si las miraba juntas, como partes de un mismo sistema. Ahí entendí lo que Senge (1990) plantea sobre superar los enfoques lineales y fragmentados: el cultivo no era solo un problema técnico de riego o fumigación, sino el punto de encuentro entre el conocimiento académico, el clima de la zona y las decisiones que tomaba cada agricultor sobre su propia parcela.

Esta perspectiva se hizo aún más clara al notar que la tecnología —en este caso el dron— no era la que definía el resultado, sino la manera en que se articulaba con las otras piezas del sistema. La suposición inicial de que un dispositivo por sí solo puede optimizar la producción se cuestiona

precisamente ahí: sin el trabajo previo del equipo interdisciplinario de docentes, el dron habría sido solo una máquina volando sin ningún criterio agronómico detrás.

Digitalización agrícola: entre el discurso tecnológico y la realidad rural

Durante mi estancia en Pasto pude observar de cerca cómo los drones se integraban al trabajo diario de los agricultores, principalmente como apoyo en labores de riego y fumigación. No se trataba de un uso ocasional o demostrativo: los productores los incorporaban para cubrir extensiones de terreno delimitadas por cercas, donde el recorrido manual habría tomado mucho más tiempo. Esta experiencia coincide con lo planteado por González et al. (2016), quienes documentan cómo los drones aplicados a la agricultura de precisión permiten evaluar cultivos de forma virtual y determinar de manera temprana problemas fitosanitarios.

Sin embargo, lo que más me llamó la atención fue algo que contradice la narrativa habitual sobre digitalización agrícola: el insumo que esparcían estos drones no era un agroquímico industrial, sino recetas caseras de insecticida, proporcionadas por un grupo interdisciplinario de docentes de los programas de Ingeniería Ambiental, Zootecnia y Agronomía. Es decir, la tecnología más sofisticada del proceso —el vuelo autónomo y georreferenciado del dron— estaba al servicio de un conocimiento que seguía siendo artesanal en su origen, aunque validado por tres miradas académicas distintas trabajando en conjunto. Esto me hizo cuestionar la manera en que la FAO (2018) suele presentar la digitalización como sinónimo de modernización productiva: en la práctica, lo que vi en Pasto fue una convivencia entre alta tecnología y saber aplicado a pequeña escala, articulada además por un trabajo interdisciplinario que no es evidente en la literatura revisada.

Ese matiz también conecta con los métodos de análisis por sensores que se usaban para capturar información del terreno después de cada vuelo: la utilidad de esos datos no dependía del sensor en sí, sino de que alguien de ese mismo equipo docente supiera traducir la lectura en una decisión sobre el cultivo. Desde la Ingeniería de Sistemas, esta experiencia me permitió entender que la digitalización agrícola no es solo incorporar dispositivos, sino también diseñar el puente entre el dato crudo, el saber experto multidisciplinar y la decisión final del agricultor.

Innovación tecnológica y saber local: una tensión necesaria

Un aspecto crítico de la investigación territorial es la relación entre conocimiento técnico y saber ancestral. Con frecuencia, la innovación tecnológica se presenta como sustituto del conocimiento tradicional, cuando en realidad ambos pueden complementarse.

Lo que vi en Pasto es quizás el ejemplo más claro de esta idea que pude presenciar de primera mano: el insecticida que distribuían los drones no era un producto industrial, sino una receta casera. Es decir, la pieza más “tecnológica” del proceso estaba literalmente transportando un saber de origen artesanal. Esto me hizo notar que la tensión no es realmente entre “tecnología” y “tradición” como dos bandos opuestos, sino algo más específico: distintos tipos de conocimiento —el académico de los tres programas involucrados, el práctico de los agricultores, y el técnico del vuelo del dron— coexistiendo en una misma acción sobre el terreno.

Desde una perspectiva crítica, esto también me hizo pensar en lo fácil que sería caer en la tecnocratización del desarrollo rural si alguien llegara con un dron y un insecticida comercial sin pasar por ese proceso previo de validación académica e interdisciplinaria. La Ingeniería de Sistemas aporta herramientas de modelamiento

y estructuración de datos —como la lectura de los sensores usados después del vuelo—, pero lo que aprendí en Pasto es que esas herramientas solo tienen un impacto social sostenible si se construyen sobre un diálogo real entre disciplinas y comunidad y no al revés.

El rol del ingeniero de sistemas en la investigación aplicada

Tradicionalmente, la Ingeniería de Sistemas se asocia con desarrollo de software o gestión informática, y así la entendía yo mismo antes de la estancia en Pasto. Lo que cambió mi visión fue notar que el reto en el terreno no era programar nada, sino resolver un problema muy concreto: había un dron capaz de sobrevolar el cultivo con precisión, un insumo —la receta casera de insecticida— validado por tres disciplinas distintas, y sensores capturando datos del terreno, pero nadie había diseñado el puente entre esas tres piezas. Ese puente, más que el software o el dron en sí, es donde vi el aporte real de un ingeniero de sistemas: estructurar esa información dispersa para que se tradujera en una decisión útil para el agricultor.

En ese sentido, la investigación aplicada se convirtió para mí en el espacio donde esas piezas convergían: el pensamiento sistémico me ayudó a ver el cultivo no como un objeto aislado sino como parte de una red de actores (docentes, agricultores, tecnología); la digitalización agrícola aportó la herramienta concreta y el trabajo de campo en Nariño le dio sentido social a todo lo anterior. No fue un ejercicio teórico: fue ver, en un mismo cultivo, cómo un dron cargaba una receta artesanal validada por tres facultades.

Con esta experiencia entendí que el rol del ingeniero de sistemas en investigación territorial no es solo optimizar procesos productivos en el sentido técnico, sino tender puentes entre saberes que de otro modo no se conectarían —el académico, el artesanal y el tecnológico—, algo que ninguna de las tres disciplinas por separado

(Ambiental, Zootecnia, Agronomía) estaba diseñada para hacer sola.

Conclusión

La reflexión desarrollada permite afirmar que la investigación territorial aplicada constituye un escenario estratégico para redefinir el rol del ingeniero de sistemas en contextos rurales. La experiencia vivida en Pasto —el uso de drones para riego y fumigación, cargando recetas caseras validadas por un equipo de Ingeniería Ambiental, Zootecnia y Agronomía, y los sensores usados después para capturar información del terreno— puso en evidencia que el territorio puede comprenderse como un sistema complejo en el que convergen dinámicas productivas, sociales, ambientales e incluso académicas interdependientes.

Esta experiencia también me dejó una lección que no esperaba: la digitalización agrícola no sustituye el saber tradicional ni el trabajo interdisciplinario, sino que puede convertirse en el vehículo que lo distribuye de forma más eficiente. En ese sentido, se concluye que la digitalización agrícola y la optimización de procesos no deben concebirse como intervenciones aisladas ni exclusivamente técnicas, sino como estrategias integradas que requieren diálogo con el saber local, articulación entre disciplinas y evaluación de impacto social.

Desde una perspectiva teórica, el análisis reafirma la pertinencia del enfoque sistémico para abordar problemáticas territoriales complejas. En el plano práctico, lo observado en Pasto me permite reconocer que la Ingeniería de Sistemas puede aportar a la formulación de proyectos sostenibles, al diseño de procesos estructurados —como el puente entre el dato del sensor y la decisión del agricultor— y a la integración tecnológica con enfoque ético. En consecuencia, esta investigación aplicada en territorio no solo amplió mi comprensión profesional

como futuro ingeniero, sino que fortaleció mi convicción sobre el papel del ingeniero como agente de transformación social orientado al desarrollo sostenible.

Referencias

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *The state of food and agriculture 2018: Migration, agriculture and rural development*. FAO. <https://www.fao.org/3/I9549EN/i9549en.pdf>
- González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. (2016). Drones aplicados a la agricultura de precisión. *Publicaciones e Investigación*, 10, 23–37. <https://doi.org/10.22490/25394088.1585>
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Doubleday.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>