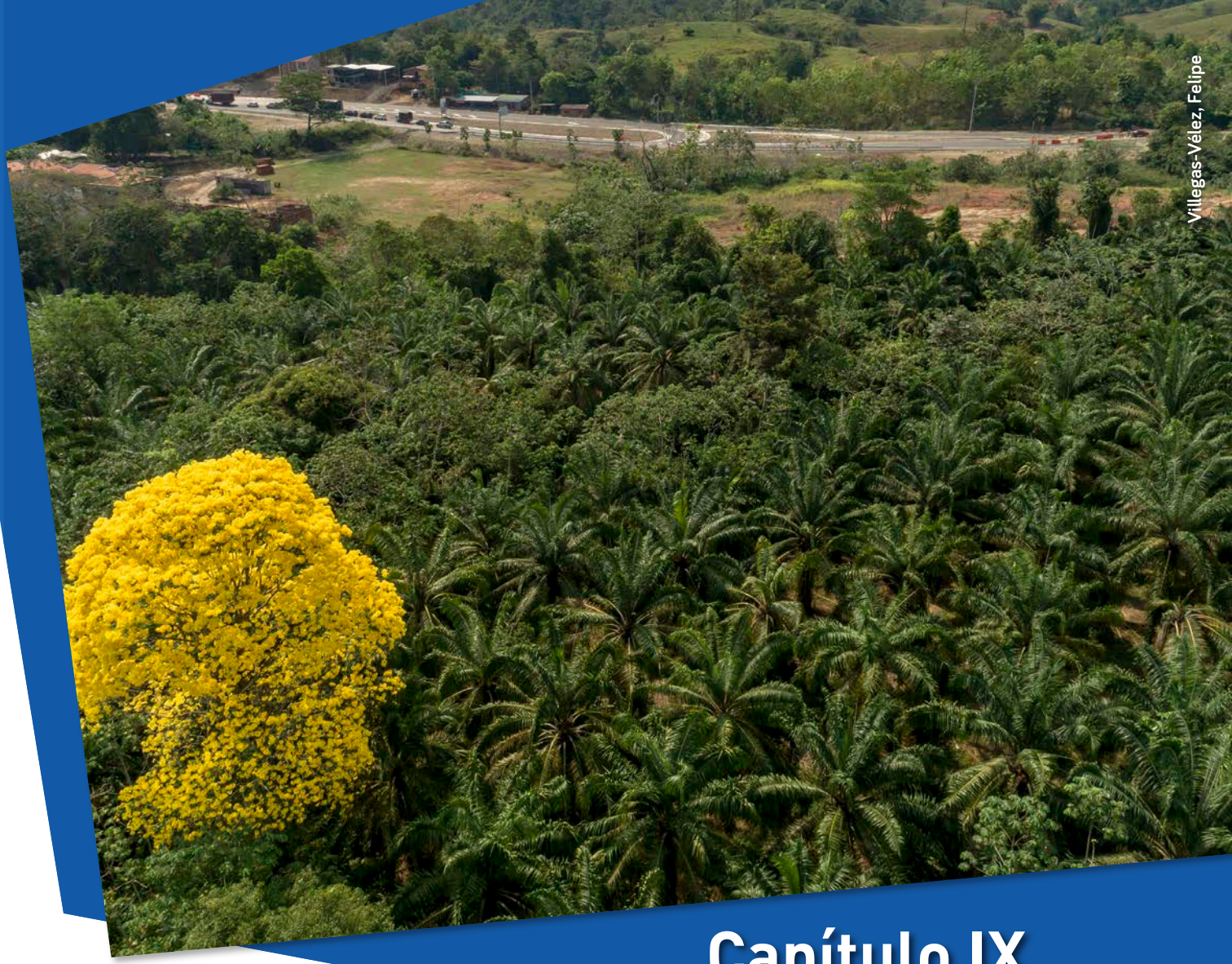

Villegas-Vélez, Felipe

Capítulo IX

Metodología de análisis de los paisajes agropecuarios

Clarita Bustamante-Zamudio
Johan Manuel Redondo

Los problemas esenciales del sector agropecuario colombiano, las responsabilidades que le corresponden para con el desarrollo del país y el compromiso que se le demanda para con el desarrollo sostenible, no pueden ser considerados de forma fragmentada, reduccionista y lineal. Los paisajes agropecuarios son sistemas en los que hay interacciones entre todos sus elementos (personas, ecosistemas, mercados, tradiciones, empresas, fincas, modos de vida, etc.), y en los que tales interacciones configuran arreglos que dinamizan el paisaje, provocan autoorganizaciones, conducen adaptaciones frente a las transformaciones y generan resultados emergentes como consecuencia de la sinergia de su configuración. En pocas palabras, los paisajes agropecuarios son sistemas complejos. Por lo tanto, el estudio o análisis de sistemas complejos como los paisajes agropecuarios debe realizarse desde ciencias que aborden la complejidad, denominadas "ciencias de la complejidad"[1].

La metodología presentada en este capítulo se corresponde con el enfoque propuesto desde las ciencias de la complejidad para el abordaje de sistemas socioecológicos como los paisajes agropecuarios. Se basa en la metodología sistémica desarrollada en los años cincuenta del siglo XX por Jay Forrester en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, conocida como "dinámica de sistemas".

Se sabe que la dinámica de sistemas no es la única ciencia de la complejidad que podría usarse, pero sí es la más adecuada por entretejer de forma causal y exhibir explícitamente las realimentaciones entre los elementos de los paisajes agropecuarios. Además, permite evaluar el comportamiento en el tiempo de las condiciones actuales bajo diferentes escenarios.

La metodología consta de los siguientes siete pasos (Redondo et al., 2019): 1) selección de la unidad espacial de paisaje, 2) modelado de la trama del paisaje y sus usos con dinámica de sistemas, 3) recolección de datos para alimentar el modelo matemático, 4) evaluación del modelo matemático, 5) análisis de la estructura de las trayectorias del sistema y de los parámetros que generan bifurcación, 6) análisis del comportamiento tendencial de escenarios, y 7) definición de lineamientos para la gestión de la sostenibilidad del paisaje. Para la gestión de la sostenibilidad se incluye, además, la reconversión y mejoramiento continuo de los paisajes agropecuarios, articulando un paso adicional de implementación de los lineamientos obtenidos bajo la metodología (figura 5).

1 Las ciencias de la complejidad son innovaciones científicas con un alto componente de desarrollo matemático, que permiten el estudio de sistemas complejos como los paisajes rurales.

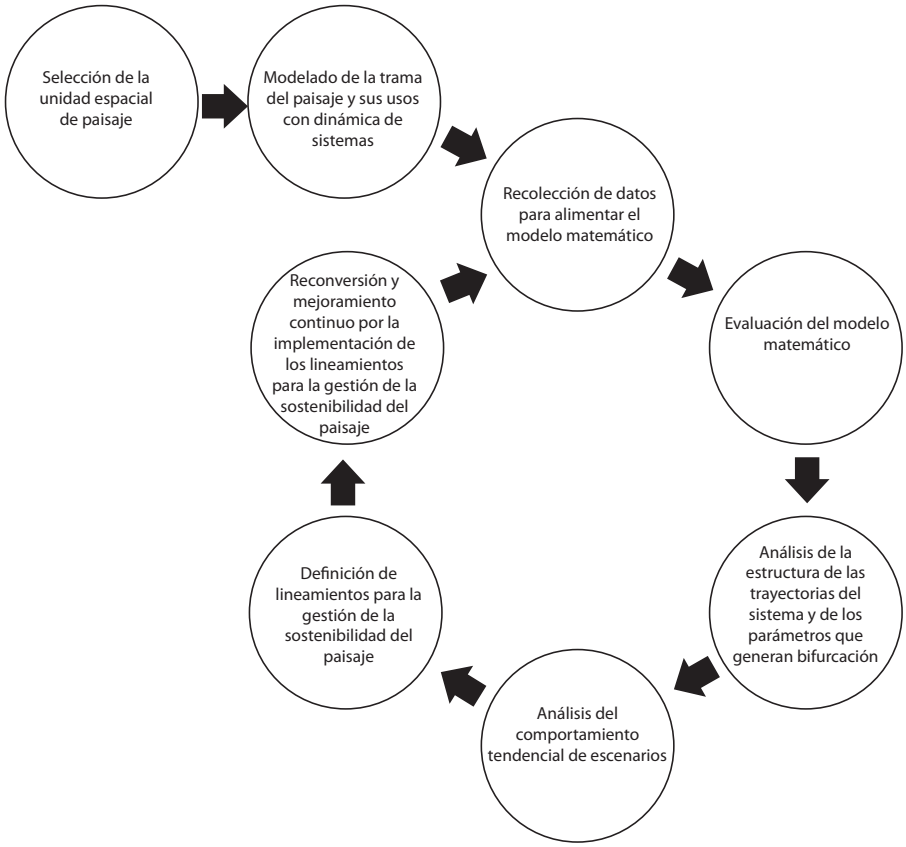

Figura 5. Proceso para la gestión de la sostenibilidad de los paisajes agropecuarios.
Fuente: Elaboración propia

Selección de la unidad espacial de paisaje

La configuración de las unidades espaciales de los paisajes al interior del área de estudio tiene como fin lo siguiente: 1) capturar la diversidad de condiciones socioecológicas, 2) establecer unidades estructurales-funcionales que permitan entender integralmente, en una escala determinada, los fenómenos socioecológicos, y 3) hacer que tanto el análisis de sostenibilidad, como la consecuente reconversión, se ajusten a condiciones específicas y no a generalizaciones simplificantes.

Para entender la diversidad de condiciones del área de estudio, se deben establecer los atributos que separan una unidad de otra, así como la escala y el nivel de agregación de los mismos. Estos atributos deben facilitar la comprensión

en el espacio y el tiempo de lo siguiente: 1) las características biofísicas[2] y productivas[3], junto con sus ciclos, ritmos y movimientos; 2) la forma en que se dan las interrelaciones entre los habitantes rurales y su entorno, la naturaleza y sus elementos, la producción y el mercado, y 3) las consecuencias de dichas relaciones en la configuración y el comportamiento del paisaje agropecuario.

Es importante diferenciar el área de estudio, que para el caso es el área agropecuaria del país, y la unidad de análisis, que corresponde al paisaje agropecuario resultado de arreglos socioecológicos específicos. El paisaje se define, entonces, en la escala y el nivel de agregación adecuados al tipo de aproximación que se quiere llevar a cabo. Un estudio del ámbito nacional debe incluir tantas unidades como sean necesarias para entender el fenómeno a escala de país. Sin embargo, para estudios regionales y locales, se deben definir unidades a escala más detallada y con información menos agregada.

La comprensión de algunos fenómenos, como los servicios ecosistémicos de regulación, el comportamiento de los mercados o la migración, a veces requiere escalas más generales para relacionarlos con los procesos y dinámicas globales que inducen acciones dominantes sobre ellos. Dichos fenómenos incluso pueden requerir escalas más detalladas para conocer las actividades específicas que los generan. De esta manera, una vez definida la unidad de análisis, es importante establecer una supraunidad y una subunidad de respaldo. Se tendrían por tanto tres unidades: la unidad de paisaje "principal" y las dos unidades de respaldo. La función de este conjunto de unidades es abordar los efectos recíprocos en múltiples direcciones. Por tanto, las dos unidades de respaldo deben estar construidas a partir de los mismos atributos definidos para la unidad de paisaje principal, pero con información espacial y temporal más o menos agregada.

Estos niveles de agregación implican unos límites que, de acuerdo con los atributos establecidos, deben contemplar un grado de flexibilidad y un rango de difusión más o menos amplios, ligados a su representatividad cartográfica.

Particularmente, y como ejemplo, para la identificación de la unidad de paisaje en la medición del indicador de agricultura sostenible en Colombia, se realizó un taller con los referentes nacionales en SIG de nueve organizaciones[4],

2 Clima, suelo, agua, ecosistemas, biota, cobertura y uso, dinámicas hídricas y geológicas, procesos de formación de suelos, etc.

3 Pequeña, mediana o gran producción, economía campesina o industrial, destino de la producción, etc.

4 MADS, IGAC, Fedearroz, UNAD, AGROSAVIA, DANE, ICBF, Ideam y CIAT.

a partir del cual se decidió utilizar, como insumo validado en el nivel institucional, la zonificación hidrográfica del Ideam, particularmente las subzonas hidrográficas nivel 2 o 3 como unidad de paisaje. Al interior de estas unidades se incluyen, como atributos, las características climáticas y de suelos, la dinámica de cobertura y uso, la tecnología, etc., partiendo de información existente y validada por las instituciones generadoras, lo cual no excluye la necesidad tanto de obtener información adicional de diferentes fuentes, como de generar información nueva y oportuna, para medir indicadores clave.

Después del paso 1, selección de la unidad de paisaje, el análisis que se hace por medio de los pasos 2 a 7 muestra el comportamiento tendencial y la expresión emergente de sostenibilidad en la unidad, en función de las características específicas mencionadas arriba.

Modelado de la trama del paisaje y sus usos con dinámica de sistemas

Modelar la trama del paisaje equivale a representar los atributos y las relaciones del sistema socioecológico en la unidad de análisis espacial que es el paisaje agropecuario, mediante una hipótesis dinámica[5] y de acuerdo con la metodología propuesta por Sterman (2000)[6].

La manera como la hipótesis dinámica representa el objeto de estudio mediante un diagrama causal facilita la traducción a cualquier público de los supuestos con los que se construye el modelo y la revisión y el acuerdo general, no solo entre los actores que forman parte de la construcción, sino también entre aquellos que puedan verse afectados por las decisiones que se propongan desde el diagrama (figura 6).

5 En dinámica de sistemas, la hipótesis dinámica es el constructo en el que se entretejen sistémicamente todos los enunciados causales del objeto representado, de modo que se hagan visibles sus realimentaciones y multicausalidades, lo cual se hace a través de un diagrama causal, un diagrama de niveles y flujos, y un conjunto de ecuaciones, todo lo cual da lugar a un modelo matemático de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden (Sterman, 2000).

6 En caso de que el lector desee revisar o profundizar sobre los aspectos conceptuales y metodológicos y sobre las aplicaciones con dinámica de sistemas, las siguientes referencias son muy recomendadas: Aracil & Gordillo (1997), Forrester (1961, 1992), Martín García (2010) y Sterman (2000).

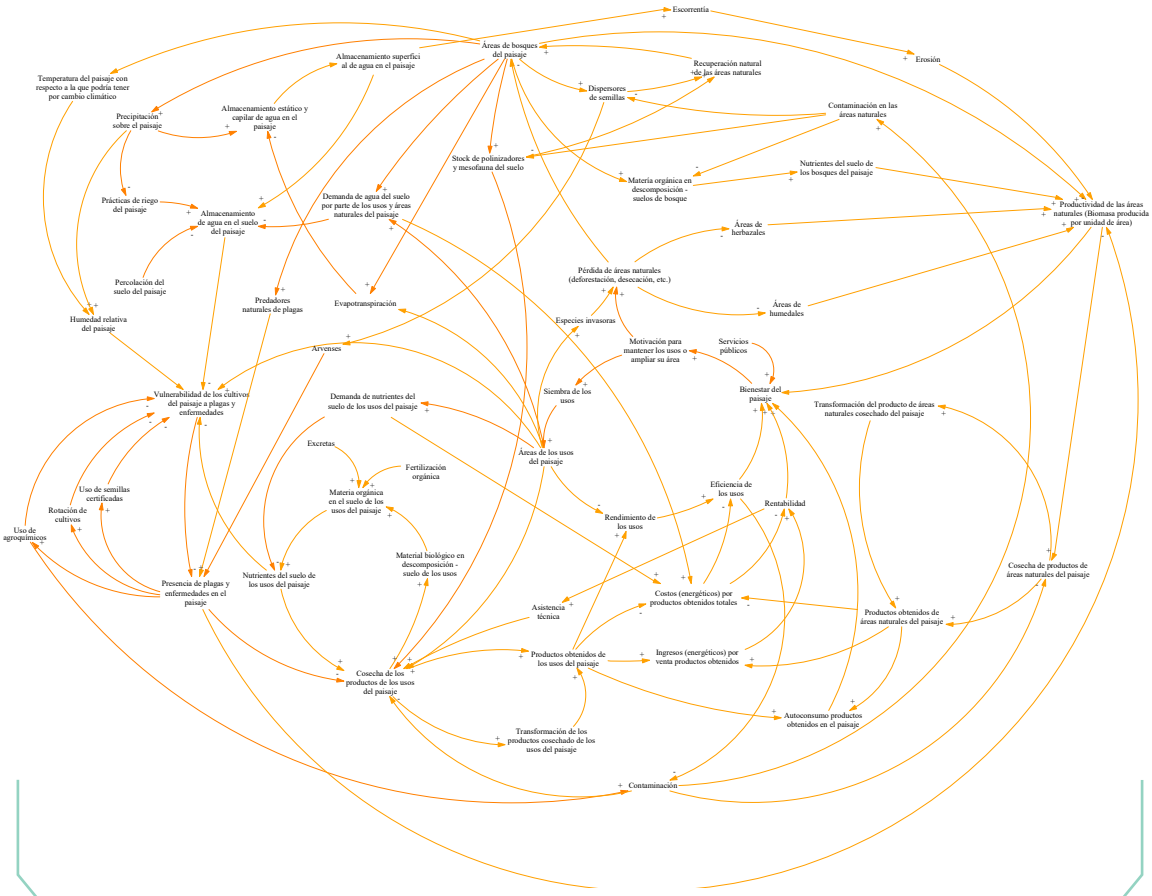

Figura 6. Diagrama causal de la hipótesis dinámica para el análisis de sostenibilidad en paisajes agropecuarios.

Fuente: Elaboración propia

El modelo obtenido bajo la dinámica de sistemas se basa en los siguientes principios:

a. **Principio de perspectiva sistémica:** la relación interdependiente, interactiva e interretroactiva de los usos del paisaje y las áreas naturales, basada en la heterogeneidad de los usos y reflejada en los servicios de regulación de agua, carbono y de la temperatura media y en el control de la erosión del suelo, lo mismo que en los efectos de la relación de la biodiversidad con los usos y áreas naturales, como la polinización, la dispersión de semillas y el ciclaje de nutrientes del suelo.

b. **Principio de productividad:** la producción y eficiencia de los usos, reflejada tanto en los servicios ecosistémicos de provisión (agua, madera,

leña, alimentos, materias primas), como en la relación unidad de producción-costo y la capacidad de almacenar elementos que previenen la excesiva fluctuación de la producción.

c. **Principio de bienestar:** los destinos de la producción (alimentación humana y animal, semillas y manto, ventas y transformaciones), la rentabilidad, la vulnerabilidad de los cultivos a plagas y enfermedades, la seguridad alimentaria, la migración y la relación de los elementos de regulación y biodiversidad con la salud de los ecosistemas.

Para esta aproximación, no se realizaron balances energéticos debido a que forman parte del futuro trabajo de investigación, pero su elaboración se destaca como una acción necesaria y fundamental para una modelación y unos análisis venideros. Si se realizaran balances de energía, estos permitirían, sobre una misma unidad de medida que no se vea afectada por la valoración social ni de mercado, establecer los costos y los beneficios multidimensionales de la producción en un paisaje agropecuario, así como los flujos metabólicos, parta así lograr un balance general. Toda la representación de los atributos y las relaciones del sistema socioecológico en el paisaje puede y debe hacerse en términos de energía.

Como puede observarse en la figura 6, la siembra conduce al aumento de las áreas de uso del paisaje, las cuales aumentan la demanda de agua, de nutrientes y organismos asociados al ciclaje de nutrientes del suelo, lo que a su vez afecta la cantidad que de ellos se encuentre en el suelo. El resultado de esto es que, en caso de una extracción (demanda) superior a la oferta, las cosechas de los productos de los usos no serán las esperadas.

La cosecha de los productos de los usos del paisaje aumenta los productos que se obtienen directamente del uso, pero también los que se obtienen mediante la transformación. El total de productos obtenidos es utilizado para el autoconsumo o para la obtención de ingresos que podrían generar rentabilidad. Esta última, la rentabilidad, es una de las condiciones de bienestar del paisaje, junto con la suficiencia de autoconsumo de productos obtenidos del paisaje.

Un paisaje que genera bienestar aumenta la motivación para mantener los usos o para ampliar su área, lo cual, por un lado, conduce a la permanencia de los actores en el paisaje y al aumento de la siembra de los usos, y por otro lado, aumenta la pérdida de áreas naturales por actividades como deforestación, aforestación y desecación, entre otras. La pérdida de áreas naturales disminuye las áreas de bosque, herbazales y humedales, lo cual repercute en

la productividad de las áreas naturales, puesto que disminuye los productos y servicios que se consiguen de ellas y que pueden aprovecharse de forma directa o mediante transformación, para el autoconsumo o para generar ingresos.

Tanto las áreas de usos como las áreas naturales generan materia orgánica en descomposición que permite aumentar los nutrientes del suelo e incrementar la productividad y las cosechas. Sin embargo, también demandan agua, con lo cual disminuye su almacenamiento en el suelo, lo que, conjuntamente con la humedad relativa del paisaje, determina la vulnerabilidad que los cultivos puedan llegar a tener respecto a plagas y enfermedades, con lo cual, de nuevo, se afecta la productividad de las cosechas.

Con la existencia de las áreas de bosque, la cantidad de polinizadores y de mesofauna del suelo se incrementa, haciendo que las cosechas de los productos de los usos del paisaje aumenten. Sin embargo, estas mismas áreas de bosque del paisaje aumentan los dispersores de semillas, los cuales son claves para la recuperación de las áreas naturales y pueden aumentar la cantidad de arvenses en los usos del paisaje. La presencia de plagas y enfermedades hace que el uso de agroquímicos aumente, lo que disminuye la vulnerabilidad de los cultivos y aumenta la contaminación en el paisaje, afectando la inocuidad de los productos obtenidos en los usos. Finalmente, se consideran también las aguas superficiales como fuente de escorrentía, la cual genera erosión en el paisaje y afecta la productividad de las áreas naturales y de los usos del suelo.

Dos hechos adicionales que pueden apreciarse en la hipótesis dinámica están relacionados con el modo como las áreas de bosque afectan tanto las precipitaciones como las temperaturas. Aunque estos hechos no se desarrollan en el modelo matemático presente en este documento, porque forman parte de la investigación futura, se sabe que las áreas de bosque con dosel cerrado generan un bombeo biótico[7] que aumenta las precipitaciones sobre el bosque, al tiempo que crean un microclima que regula las condiciones óptimas para el sistema.

Esta información es la que configura los indicadores de sostenibilidad para los principios de perspectiva sistémica, productividad y bienestar, establecidos en el marco conceptual acordado (figura 7).

7 Para profundizar sobre el bombeo biótico de humedad atmosférica como impulsor del ciclo hidrológico en la tierra, consulte Makarieva & Gorshkov (2007).

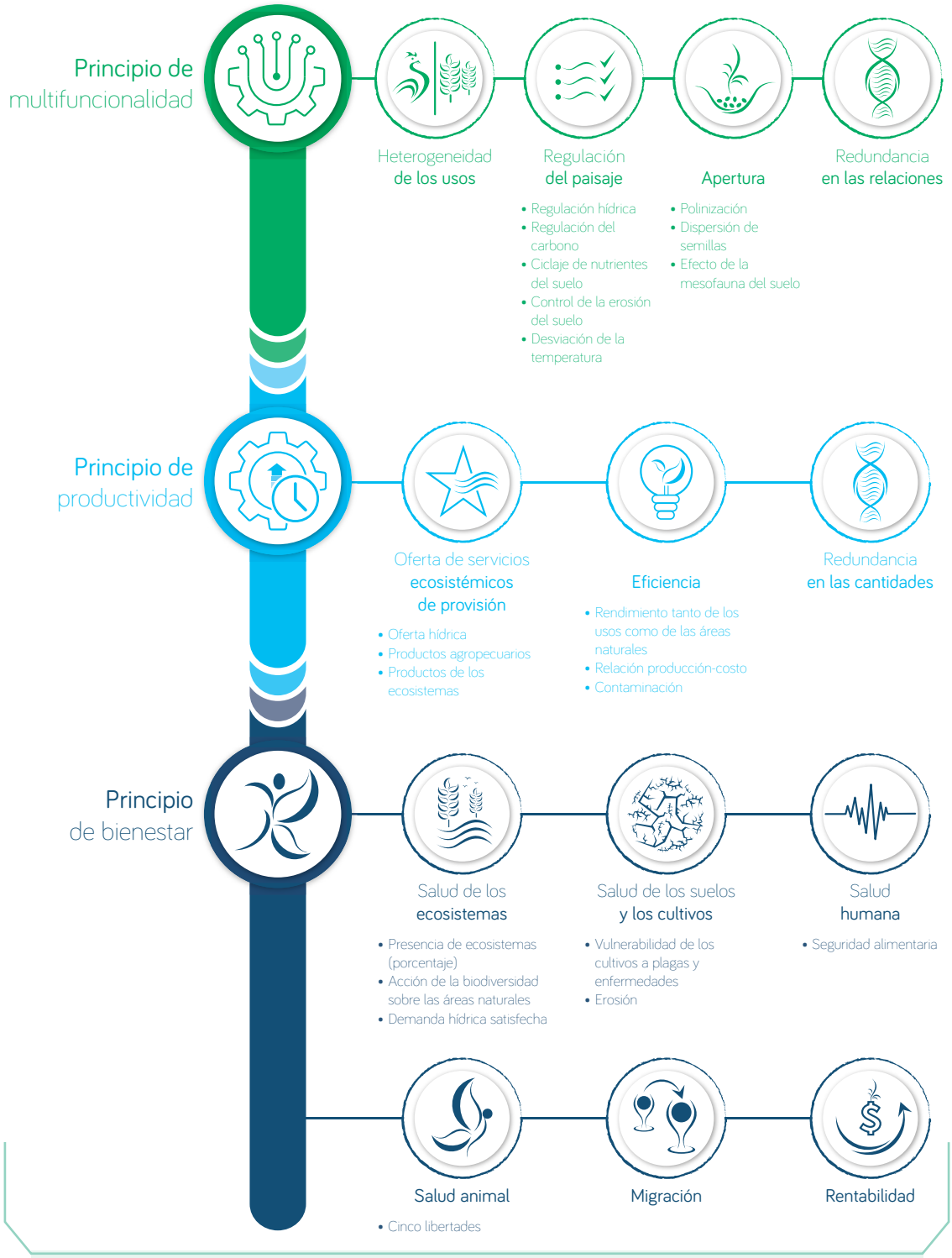

Figura 7. Principios e indicadores de sostenibilidad del paisaje.
Fuente: Elaboración propia

Recolección de datos para alimentar el modelo matemático

La recolección de datos es una actividad que solo se inicia a partir de las demandas de información del modelo y, por consiguiente, con el reconocimiento del tipo de procesamiento que se realiza sobre ellos (Redondo, 2018). De este modo no se incurre en el detrimento de los recursos de monitoreo, transmisión, almacenamiento y preprocesamiento, que son necesarios para la inclusión de los datos en los procesos de obtención de información para la toma de decisiones.

En relación con la información, se dispone de datos de fuentes secundarias y primarias, analógicos, geográficos, estadísticos, cualitativos, cuantitativos, por mediciones o por percepción, que son el resultado de la aplicación de diferentes protocolos, metodologías o modelos espaciales (si provienen de análisis geográficos), establecidos por la entidad o grupo generador de los mismos. Estos datos responden a diferentes instrumentos, esfuerzos, capacidades y experiencias técnicas y deben ser representativos para la escala espacial y temporal del análisis, por lo cual estas características deben ser tenidas en cuenta en el momento de seleccionar una fuente o metodología de recolección de datos por parte del equipo de trabajo del análisis de sostenibilidad.

Como ejemplo se puede decir que una de las principales fuentes de datos para el modelo es la ENA, que contiene información útil para establecer áreas de cultivos y naturales, producción, autoconsumo, riego, contaminación, semillas e insumos utilizados, pérdidas de cultivos, ocurrencia de eventos climáticos, entre mucha otra información, la cual además puede complementarse con otras fuentes temáticas específicas.

Los datos deben estar consignados en tablas y hojas de cálculo que especifiquen sus requerimientos y características según las demandas del modelo en temporalidad, escala y rango, así como la fuente y metodología de recolección, para información primaria y secundaria. Además, los datos deben presentarse de la manera adecuada para que se puedan exportar a la plataforma en la que se opera el modelo de dinámica de sistemas. Se usan códigos para los datos y los paisajes, de tal forma que se pueda acceder rápidamente a ellos. Las tablas de datos se acompañan de un diccionario de datos, que permite a los usuarios de la metodología de análisis entenderlos y ajustarlos, si así se requiere.

La mayoría de los datos del modelo son tasas de flujo; por lo tanto, es importante garantizar que se cuenta con lecturas de por lo menos dos periodos,

ajustados a la estacionalidad de la variable y previendo la significancia y variabilidad en la sensibilidad de los datos. Igualmente, es importante conocer, para todos los datos, el margen de error que tienen, tanto en la escala espacial como en la temporal.

Cuando los datos espaciales provengan de unidades de análisis diferentes a las seleccionadas, es fundamental conocer su contexto, naturaleza, escala y acumulación, con el fin de partirlos, proporcionarlos o clasificarlos para la unidad de paisaje seleccionada. En el caso de datos con diferentes escalas temporales, es igualmente importante homogeneizar las escalas o contemplar las variaciones o los márgenes de error.

Evaluación del modelo matemático desarrollado bajo esta metodología

La evaluación del modelo desarrollado para la medición del indicador debe surtir dos momentos: *calibración* y *validación*.

La calibración es un ejercicio basado en los datos de los paisajes nacionales, que se coordina para ser desarrollado en el preprocesamiento, dentro de la etapa de recolección de datos.

La validación de modelos es un aspecto importante y muy técnico, aunque controvertido, de cualquier metodología basada en modelos en general, y de la dinámica de sistemas en particular (Barlas, 1996), pero que vale la pena mencionar. En el modelo desarrollado para el análisis de sostenibilidad, se realizaron pruebas de validación de estructura (Barlas, 1996) mediante todas las pruebas de estructura directa: prueba de confirmación de la estructura (empírica y/o teórica), prueba de confirmación de los parámetros (empírica y/o teórica), prueba directa de condiciones extremas, prueba de consistencia dimensional y pruebas de comportamiento orientado a la estructura (prueba de condiciones extremas, prueba de adecuación de los límites, prueba de relaciones de fase, análisis de características cualitativas).

Análisis del comportamiento tendencial

El análisis del comportamiento tendencial es un estudio del sistema que se hace desde su estado actual, a partir de un conjunto de reglas sobre las que evoluciona el estado actual en un periodo de tiempo. Si se evalúa el estado

actual bajo las reglas actuales, se obtiene el comportamiento tendencial del sistema. Si se evalúa el estado actual bajo otras reglas posibles para el sistema, se obtiene el comportamiento tendencial de escenarios posibles u oportunidades del sistema. En cualquier caso, la premisa clave es responder a la pregunta: ¿qué pasaría con la sostenibilidad del paisaje si...?[8].

Para el caso en el que la pregunta sea: ¿qué pasaría con la sostenibilidad del paisaje si no se hace nada distinto a lo que ya se hace?, nótese que la pregunta indaga si el actual arreglo del sistema socioecológico del paisaje es sostenible, mientras que si la pregunta es: ¿qué pasaría con la sostenibilidad del paisaje si se hace algo distinto a lo que ya se hace?, lo que se indaga es sobre un conjunto infinito de posibilidades/oportunidades de implementación sobre el paisaje y su sostenibilidad.

Para un buen desempeño en la realización del análisis de comportamiento tendencial, se debe establecer con claridad lo que se espera para el instante o intervalo de tiempo futuro en el que se realizará la evaluación y los escenarios que serán evaluados. En el caso de la medición del indicador de agricultura sostenible, la pregunta es: ¿qué pasa con el comportamiento tendencial de los paisajes colombianos bajo los arreglos con los que hoy en día se cuenta? Lo que se indaga aquí es si los paisajes son sostenibles, tomando como periodo de evaluación los años comprendidos entre 2020 y 2030, horizonte en el que se espera que 10 % de la producción agrícola nacional, en toneladas, cumpla con los criterios de agricultura sostenible. En caso de que los análisis de comportamiento tendencial realizados en entornos de simulación controlada conduzcan a la conclusión de que la meta no será alcanzada, se deberá realizar el análisis del comportamiento tendencial de otros arreglos de paisaje que sí permitan alcanzarla, es decir, se realizará el análisis del comportamiento tendencial de diferentes escenarios.

Definición de lineamientos para la gestión de la sostenibilidad del paisaje

Todo el constructo técnico-científico de la metodología esbozada en este capítulo conduce, no solo a la verificación del cumplimiento del indicador de agricultura sostenible, sino también a la definición de lineamientos para la gestión de paisajes agropecuarios sostenibles, previamente probados en entornos de simulación controlada, donde es posible identificar los efectos

8 Considérese aquí la sostenibilidad como un indicador que podría tener valores nulos.

de nuestras actuaciones y propuestas sobre los paisajes, incrementando la confiabilidad de las implementaciones planteadas.

Estos lineamientos, de acuerdo con las discusiones realizadas en este libro, no consisten en la proposición de prácticas efectivas, sino en orientaciones sobre los requerimientos de gestión, acordes con las interrelaciones e indicadores de sostenibilidad que requieran ser atendidos y los cambios que se generarían a partir de dicha gestión hacia escenarios viables de sostenibilidad.

Un lineamiento, entonces, lista y describe los elementos y las relaciones del arreglo del sistema socioecológico que no son deseados por la evidencia obtenida a través de los indicadores de sostenibilidad, y muestra la manera como deben modificarse, con el fin de mejorar el comportamiento tendencial del paisaje.

Reconversión y mejoramiento continuo de los paisajes agropecuarios

Los paisajes se encuentran en permanente cambio como resultado de la interacción de los diferentes elementos socioecológicos de su estructura sistémica. Es decir, los paisajes están cambiando de un estado a otro de forma continua.

Sin embargo, son ciertos conjuntos de estados, con características específicas definidas por un marco de referencia en particular, los que podrían considerarse como deseables. Por ejemplo, la sostenibilidad se refiere a un conjunto[9] de estados cuyo comportamiento tendencial garantiza una noción de bienestar que es capaz de permanecer en el tiempo[10].

9 Podría ser un conjunto de conjuntos de estados, por lo que es válido dejarlo en singular.

10 Dado un $\vec{x} = (x_1, x_2, \ldots, x_n)^T$ que sea el vector de estado del sistema socioecológico (por ejemplo un paisaje rural), y f una transformación continua y diferenciable (posiblemente a trozos) sobre $\vec{x}$. Cuando $\vec{x}$, se convierte en $\vec{y}$ por la transformación f, ocurre una transición. Dado un $\vec{B} = B(\vec{x}) = (B_1(x_1, x_2, \ldots, x_n), \ldots, B_m(x_1, x_2, \ldots, x_n))^T$ que sea el vector de bienestar (una interpretación contexto-dependiente del estado del sistema socioecológico), y si esta interpretación de bienestar es una simetría bajo la transformación en el tiempo del sistema socioecológico, en la que cada uno de sus indicadores es positivo, entonces el sistema socioecológico es sostenible, es decir, existe sostenibilidad en el sistema socioecológico si se satisface:

$$\frac{d}{dt}\vec{B} = 0;\ B_i(x_1, x_2, \ldots, x_n) > 0, i = 1, \ldots m.$$

Estas simetrías son conjuntos invariantes, como son los puntos de equilibrio, las órbitas periódicas, los toroides y los atractores extraños, lo cual demuestra la riqueza dinámica que podría tener un paisaje.

Particularmente, en este libro ha de entenderse *reconversión* como los procesos que acompañan las transformaciones de los paisajes agropecuarios, para dirigirlos a una transición hacia la sostenibilidad. Por ejemplo, puede proponerse la reconversión de los sistemas socioecológicos hacia la sostenibilidad, para señalar el paso de conjuntos de estados que no son sostenibles (a pesar de tener indicadores económicos, sociales o ambientales que por separado y para un cierto momento puedan ser deseables o convenientes) a estados que sí lo sean.

Sobre el mejoramiento continuo, la pregunta adjunta es: ¿se puede aumentar/disminuir el bienestar y hacer que ese incremento/decremento persista en el tiempo? En principio, y por medio de ejercicios de simulación, se encontró que se puede usurpar el bienestar de un paisaje para llevarlo a otro bienestar, lo que va en contra de la panarquía, es decir, de ese diálogo que debe existir entre las diferentes escalas, para que las decisiones en un nivel no afecten el sistema socioecológico en otro. Sin embargo, el usurpamiento de bienestar entre paisajes es indeseable en cualquier escala y no puede ser denominado "sostenibilidad".

Esta discusión sobre los conceptos de reconversión y mejoramiento continuo de los sistemas socioecológicos, abordada en este libro de manera particular para los paisajes agropecuarios, permite proponer cuatro fases:

- Identificación de oportunidades para alcanzar las metas:
    - Definición de las trayectorias de cambio.
    - Determinación de la viabilidad socioecológica.
- Planificación del cambio.
- Planificación de contingencias–gestión adaptativa: la gestión se denomina "adaptativa" cuando es capaz de transformarse para atender los cambios de necesidades frente a todo tipo de perturbaciones del sistema socioecológico, en el marco de la inteligencia colectiva, para asegurarse una implementación exitosa.
- Implementación.

Referencias

Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas.* Alianza Editorial.

Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review, 12*(3), 183-210. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3<183::AID-SDR103>3.3.CO;2-W

Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics.* MIT Press.

Forrester, J. W. (1992). Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research, 59*(1), 42-63. https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90006-U

Makarieva, A. M., & Gorshkov, V. G. (2007). Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences, 11*(2), 1013-1033. https://doi.org/10.5194/hess-11-1013-2007

Martín García, J. (2010). *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas* (3ª ed.).

Redondo, J. M. (2018). Knowledge management for the conservation of biodiversity and the sustainability of ecosystem services. In M. Babtista Nunes, P. Isaías & P. Powell, *Proceedings of the 11th IADIS International Conference Information Systems 2018, IS 2018* (pp. 245-249). http://www.iadisportal.org/digital-library/knowledge-management-for-the-conservation-of-biodiversity-and-the-sustainability-of-ecosystem-services

Redondo, J. M., Bustamante-Zamudio, C., Amador-Moncada, J., & Hernández-Manrique, O. L. (2019). Landscape sustainability analysis: Methodological approach from dynamical systems. In *Journal of Physics: Conference Series, 1414.* https://doi.org/10.1088/1742-6596/1414/1/012010

Sterman, J. (2000). *Business dynamics-systems thinking and modeling for a complex world.* McGraw Hill.