



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Toma de decisiones para la evaluación y priorización de proyectos verdes

Julián Andrés Castrillón Gómez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad Ingeniería, Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica
Manizales, Colombia
2022

Toma de decisiones para la evaluación y priorización de proyectos verdes

Julián Andrés Castrillón Gómez

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Doctor en Ingeniería (Automática)

Director:

Ph.D. Gerard Olivar Tost

Codirector (a):

Ph.D. Johnny Valencia Calvo

Ph.D. Fabiola Angulo García

Línea de Investigación: Automática

Grupo de Investigación: ABC Dynamics

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de ingeniería, Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica

Manizales, Colombia

2022

A mi Padre Celestial

Que me acompaña, me guía y me levanta a cada paso de mi vida.

A mis padres

Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; éste, como muchos otros de mis logros, lo debo a ustedes.

A mi esposa, Lolita

Por su amor, apoyo y comprensión, no solo durante el tiempo del doctorado, sino desde siempre. Eres la parte motivadora e inspiradora en mi vida. A ti, mi eterno amor y gratitud.

A mis hijos, Violeta y Rafael

Por su amor incondicional, paciencia y comprensión y el tiempo cedido para que "papá trabaje". Sus ocurrencias y travesuras, sin duda, hicieron más fácil este camino.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Julián Andrés Castrillón Gómez

Fecha 30/08/2022

Agradecimientos

A mi director de tesis Ph. D. Gerard Olivar Tost, por su ayuda, paciencia, dedicación y sus valiosos aportes a la hora de ejecutar este proyecto de investigación. Por recibirme en la Universidad Nacional Sede Manizales e invitarme a ser parte de su colectivo de investigación y, actualmente, desde la Universidad de Aysén en Chile, por mantener siempre su disposición y colaboración. Igualmente, por darle gran relevancia a esta investigación a través de diferentes congresos y conferencias internacionales, en los que ha sido presentada.

A mi codirector, Ph. D. Johnny Valencia Calvo, por su dedicación, colaboración e interés en este proyecto y sus valiosas contribuciones que sirvieron para robustecer este proyecto. Así mismo, por permitirme aprender más que de los sistemas dinámicos, otro lado de la ingeniería, sus aplicaciones y la manera en que somos parte de ella.

Al profesor Gustavo Paccosi, quien me recibió durante mi estancia en la Universidad Nacional del General Sarmiento, en Argentina. Con él, pude aprender a disfrutar el camino y a seguir en el estudio de sistemas dinámicos. Su dedicación a este proyecto y sus valiosos consejos, me permitieron sacar adelante esta propuesta.

A la profesora Ph. D. Fabiola Angulo García, quien aceptó ser codirectora de este proyecto de investigación, apoyándome en todos los requerimientos y solicitudes que fueron necesarias para la culminación exitosa de esta tesis.

Al programa de Doctorados Nacionales del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia con su convocatoria 727, por su soporte económico, así como a la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo a la hora de participar en encuentros, difusión del conocimiento y formación doctoral.

A las comunidades de las veredas El Pesebre, en Tame (Arauca) y California en Fresno (Tolima), por su determinada colaboración y activa participación durante los talleres realizados.

Finalmente, a toda mi familia y a las demás personas que de una u otra manera me ayudaron y acompañaron durante este proceso y, pese al vaivén de la vida, fueron de gran apoyo para terminar con éxito mi doctorado.

Resumen

Toma de decisiones para la evaluación y priorización de proyectos verdes

El presente documento de tesis doctoral, propone un enfoque de análisis sistémico y con este un resumen metodológico, para comprender el comportamiento ambiental, social y económico de una comunidad y, con base en ello, seleccionar y dar prioridad a los proyectos verdes (que propenden por la sostenibilidad) que puedan brindarle un mayor beneficio. Para este fin, se presenta una propuesta metodológica conformada por tres etapas. La primera, consistente en un grupo de ecuaciones diferenciales ordinarias, que conforman un modelo en dinámica de sistemas, cuyo objetivo es reunir las principales características de un sistema social sostenible, fundamentado en el uso del agua y el uso del suelo. La segunda, consistente en una serie de talleres participativos con la comunidad, cuyo objetivo es reunir información acerca de las necesidades, prioridades, expectativas, entre otros, que sus habitantes tienen en cuanto a las principales problemáticas relacionadas con el uso del agua y el uso del suelo. Y la tercera, consiste en una serie de ecuaciones y operaciones matriciales, que conforman el denominado proceso analítico de red, para jerarquizar los proyectos verdes. A lo largo del documento, se mostrará que el fundamento de la tesis se basa en el aprovechamiento de la dinámica de sistemas y los sistemas dinámicos para la creación de escenarios futuros; el modelado participativo, para involucrar a la ciudadanía, aprovechar su conocimiento y conocer sus necesidades y; el proceso ANP, para aplicar un método matemático que permita reducir el sesgo en las decisiones y seleccionar el mejor proyecto con base en los criterios y prioridades definidas. Además, se proponen dos casos de estudio con el fin de evidenciar los diferentes comportamientos del modelo cuando se varían los valores de los parámetros del sistema. Logrando así, que exista una sensibilidad en la selección de proyectos de acuerdo con la comunidad a la cual va dirigida, facilitando la toma de decisiones según cada caso. Hasta ahora, no se han encontrado en la literatura reportes sobre este uso conjunto de diferentes métodos para la selección de proyectos. Como primer resultado importante, se ha

encontrado que, de acuerdo a la dinámica de cada comunidad, los tomadores de decisiones pueden preferir uno u otro proyecto y no sesgarse por la elección de aquel que consideran mejor a la luz de las propuestas presentadas. En este sentido, la planificación y el estudio de la dinámica de las comunidades frente a posibles escenarios, implica que la dinámica en la toma de decisiones podría verse alterada de acuerdo con las necesidades y prioridades que la misma comunidad da a sus problemáticas. Desde este trabajo, se propone entonces que, basados en una metodología donde se vinculan la dinámica de sistemas y el modelado participativo como métodos evaluativos y, el proceso analítico de red como método de priorización, se aprovechen como facilitadores en la toma de decisiones, respaldados en la pertinencia matemática de cada uno de ellos.

Palabras clave: Evaluación y Priorización, Proyectos Verdes, Dinámica de Sistemas, Modelado Participativo, Proceso Analítico de Redes (ANP), Toma de Decisiones, Metodología, Modelado y Simulación, Sistemas Dinámicos

Abstract

Decision Making for the evaluation and prioritization of green projects

This doctoral thesis document proposes a qualitative analysis approach and with this a methodological summary, to understand the environmental, social and economic behavior of a community and, based on it, select and give priority to green projects (which tend to for sustainability) that can provide the community with a greater benefit. To this end, a methodological proposal consisting of three stages is presented. The first, consisting of a group of ordinary differential equations, which make up a system dynamics model, whose objective is to gather the main characteristics of a sustainable social system, based on the use of water and the use of land. The second, consisting of a series of participatory workshops with the community, whose objective is to gather information about the needs, priorities, expectations, among others, that its inhabitants have regarding the main problems related to the use of water and the use ground. And the third, consists of a series of equations and matrix operations, which make up the so-called network analytical process, to rank green projects. Throughout the document, it will be shown that the foundation of the thesis is based on the use of system dynamics and dynamic systems for the creation of future scenarios; participatory modeling, to involve citizens, take advantage of their knowledge and meet their needs and; the ANP process, to apply a mathematical method that reduces bias in decisions and selects the best project based on defined criteria and priorities. In addition, two case studies are proposed in order to demonstrate the different behaviors of the model when the values of the system parameters are varied. Thus achieving that there is a sensitivity in the selection of projects according to the community to which it is directed, facilitating decision-making on a case-by-case basis. Until now, no reports on this joint use of different methods for project selection have been found in the literature. As a first important result, it has been found that, according to the dynamics of each community, decision makers may prefer one project or another and not

be biased by choosing the one they consider best in light of the proposals presented. In this sense, the planning and study of the dynamics of the communities in the face of possible scenarios implies that the dynamics in decision-making could be altered according to the needs and priorities that the community itself gives to its problems. From this work, it is proposed then that based on a methodology where system dynamics and participatory modeling are linked as evaluative methods and, the network analytical process as a prioritization method, they are used as facilitators in decision making, supported in the mathematical relevance of each of them.

Keywords: Evaluation and Prioritization, Green Projects, System Dynamics, Participatory Modeling, Analytic Network Process (ANP); Decision Making, Methodology, Modeling and Simulation, Dynamic Systems.

Contenido

	Pág.
Resumen	XI
Lista de figuras.....	XVII
Lista de tablas.....	XX
Lista de Símbolos y abreviaturas	XXI
Introducción	1
1. Capítulo 1. El Diagnóstico Rural Participativo (DRP) en la evaluación y priorización de proyectos verdes	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Desarrollo metodológico (Talleres Participativos)	12
1.3 Factores Ciudadanos	16
1.4 Conclusiones del capítulo	18
2. Capítulo 2. Hacia la toma de decisiones para la evaluación y priorización de proyectos verdes. Integración entre la Dinámica de Sistemas y el Modelado Participativo	19
2.1 Sistema de ecuaciones.....	25
2.2 Parámetros y supuestos en el modelo en Dinámica de Sistemas.....	29
2.3 Validación del modelo en Dinámica de Sistemas	32
2.4 Explotación del modelo	38
2.5 Conclusiones del capítulo	46
3. Capítulo 3. Integración participativa entre la Dinámica de Sistemas y el Proceso Analítico de Red (ANP) como metodología de evaluación y priorización de proyectos verdes	47
3.1 Evaluación según el método ANP	50
3.2 Resultados y Priorización	53
3.3 Conclusiones del capítulo	55
4. Capítulo 4. Casos de estudio	57
4.1 Vereda El Pesebre (Tame, Arauca, Colombia)	57
4.1.1 Taller participativo (vereda El Pesebre, Tame, Arauca)	58
4.1.2 Factores ciudadanos.....	62
4.1.3 Modelo en Dinámica de Sistemas	66
4.1.4 Simulaciones del modelo para la evaluación y priorización.....	68
4.1.5 Evaluación y priorización mediante ANP (El Pesebre)	72

4.2	Vereda California (Fresno, Tolima, Colombia)	76
4.2.1	Taller participativo (vereda California, Fresno, Tolima)	76
4.2.2	Factores ciudadanos.....	79
4.2.3	Modelo en Dinámica de Sistemas	82
4.2.4	Simulaciones del modelo para la evaluación y priorización.....	84
4.2.5	Evaluación y priorización mediante ANP (California).....	88
4.3	Resultados y priorización para los casos de estudio	90
5.	Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro.....	95
5.1	Conclusiones Principales.....	95
5.2	Cumplimiento de objetivos.....	101
5.3	Recomendaciones y trabajo futuro	102
A.	Anexo: Análisis de contractividad para el modelo en Dinámica de Sistemas.....	103
B.	Anexo: Registro audiovisual Taller Participativo vereda El Pesebre.....	109
C.	Anexo: Registro audiovisual Taller Participativo vereda California	111
	Bibliografía	113

Lista de figuras

	Pág.
Figura I- 1: Detalle de la metodología propuesta de evaluación y priorización.....	6
Figura I- 2: Etapas de la metodología propuesta de evaluación y priorización.....	7
Figura I- 3: Construcción de la metodología.	8
Figura 1- 1: Desarticulación entre la comunidad, la investigación y los proyectos.	12
Figura 1- 2: Integración entre la comunidad, proyectos e investigación mediante DRP.	13
Figura 2- 1: Diagrama de bucle causal (CLD), Hipótesis dinámica inicial.	22
Figura 2- 2: Diagrama de flujos y niveles.	24
Figura 2- 3: Análisis de sensibilidad en la variable de nivel Agua Disponible.	34
Figura 2- 4: Análisis de sensibilidad en la variable de nivel Suelo Disponible.	34
Figura 2- 5: Análisis de sensibilidad en la variable Margen de Reserva (agua).	35
Figura 2- 6: Análisis de sensibilidad en la variable Margen de Reserva (suelo).	36
Figura 2- 7: Análisis de sensibilidad en la variable Priorización de proyectos (agua). .	37
Figura 2- 8: Análisis de sensibilidad en la variable Priorización de proyectos (suelo)..	37
Figura 2- 9: Explotación del modelo.	39
Figura 2- 10: Modelo de prueba 2, variables Optimización del uso del suelo y Optimización del uso del agua.	41
Figura 2- 11: Modelo de prueba 3, decisión de inversión en agua igual a cero.....	41
Figura 2- 12: Modelo de prueba 3, decisión de inversión en suelo igual a cero.	42
Figura 2- 13: Análisis de sensibilidad modelo de prueba 1.	43
Figura 2- 14: Análisis de sensibilidad modelo de prueba 2.	44
Figura 2- 15: Análisis de sensibilidad modelo de prueba 3.	45

Figura 3- 1:	Identificación de los clústeres de la red ANP, en el modelo en Dinámica de Sistemas.....	49
Figura 3- 2:	Red ANP a partir del modelo en Dinámica de Sistemas.....	50
Figura 3- 3:	Dimensión Ambiental Vs. Dimensión Económica.	52
Figura 3- 4:	Comparación entre nodos con la escala de Saaty.....	53
Figura 3- 5:	Evaluaciones ANP (año cero a veinte).	54
Figura 4- 1:	Ubicación geográfica de la vereda El Pesebre.....	58
Figura 4- 2:	Comunidad de El Pesebre en el Taller Participativo	59
Figura 4- 3:	Cambios en los niveles de oferta y demanda de agua y suelo.....	68
Figura 4- 4:	Priorización de proyectos según el factor ciudadano.....	69
Figura 4- 5:	Influencia de los factores ciudadanos en la decisiones de inversión (agua).	70
Figura 4- 6:	Influencia de los factores ciudadanos en las decisiones de inversión (suelo).....	70
Figura 4- 7:	Respuesta del factor ciudadano ante eventual escasez de recursos.....	71
Figura 4- 8:	Preferencia hacia los proyectos relacionados con el recurso del agua	72
Figura 4- 9:	Preferencia hacia los proyectos relacionados con el recurso del suelo.	72
Figura 4- 10:	Comparación por pares en el clúster dimensión económica.	73
Figura 4- 11:	Comparación por pares entre elementos o nodos de la red ANP.	74
Figura 4- 12:	Tabla de prioridades generada mediante el software Super Decisions. ...	75
Figura 4- 13:	Ubicación geográfica vereda California.	76
Figura 4- 14:	Comunidad de California en el Taller Participativo	77
Figura 4- 15:	Simulación de la variable Margen de Reserva (Dimensión Ambiental).	85
Figura 4- 16:	Simulación de la variable Decisión de inversión (Dimensión Gobierno). ..	85
Figura 4- 17:	Simulación de la variable Priorización de Proyectos (Dimensión Económica).....	86
Figura 4- 18:	Optimización de los recursos (Dimensión Económica).	87
Figura 4- 19:	Simulación variables Agua y Suelo Disponibles (Dimensión Económica). 87	
Figura 4- 20:	Población y Factores Ciudadanos (Dimensión Social).	88
Figura 4- 21:	Comparación por pares entre los nodos del clúster Dimensión Social.	89

Figura 4- 22: Tabla de prioridades en el instante de tiempo 10.	90
Figura A- 1: Solución del sistema mediante el análisis de contractividad.....	107

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1- 1: Estructura de los talleres participativos.	14
Tabla 1- 2: Factores ciudadanos determinados mediante el taller participativo.	16
Tabla 2- 1: Parámetros utilizados para la simulación del modelo.	29
Tabla 3- 1: Escala fundamental de Saaty.	51
Tabla 4- 1: Hallazgos del taller participativo (El Pesebre)	60
Tabla 4- 2: Factores ciudadanos (El Pesebre)	64
Tabla 4- 3: Parámetros utilizados para la simulación del modelo (El Pesebre).....	67
Tabla 4- 4: Hallazgos del DRP clasificados por dimensión (clúster de la red ANP). ...	77
Tabla 4- 5: Factores ciudadanos agua y suelo (generales).....	80
Tabla 4- 6: Factores ciudadanos discriminados por dimensión.	80
Tabla 4- 7: Factores ciudadanos (vereda California).....	81
Tabla 4- 8: Calibración del modelo en Dinámica de Sistemas.	83
Tabla 4- 9: Proyectos a evaluar y priorizar.	91
Tabla 4- 10: Distribución de las ponderaciones por instante de tiempo.....	92
Tabla 4- 11: Evaluación y priorización final de proyectos (vereda El Pesebre).	92
Tabla 4- 12: Evaluación y priorización final de proyectos (vereda California).	93
Tabla A- 1: Valores utilizados en el análisis de sensibilidad.	104
Tabla A- 2: Valores de r1 y r2 con LUR en mínimo	104
Tabla A- 3: Valores de r1 y r2 con el parámetro LUR original.....	105
Tabla A- 4: Valores de r1 y r2 con el parámetro LUR en el máximo	106

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Término	Unidades
x_1	Recurso del agua disponible	m^3
x_2	Recurso del suelo disponible	<i>Ha</i>
a	Índice de agua no utilizada	%
b	Tasa de utilización del suelo	%
W	Aportes de Agua	m^3
L	Suelo Optimizado	<i>Ha</i>
A_{suelo}	Ahorro del suelo	<i>Ha</i>
A_{agua}	Ahorro del agua	m^3
O_{suelo}	Optimización del uso del suelo	<i>Ha</i>
O_{agua}	Optimización del uso del agua	m^3
P_a	Priorización de proyectos agua	%
P_s	Priorización de proyectos suelo	%
MR_a	Margen de reserva del agua	%
MR_s	Margen de reserva del suelo	%
FC_s	Factor Ciudadano Social	%
FC_a	Factor Ciudadano Ambiental	%
FC_e	Factor Ciudadano Económico	%
I	Inversión Disponible	<i>pesos</i>
I_p	Incentivos Proyectos Verdes	<i>pesos</i>
D_a	Decisión de Inversión Agua	

Símbolo	Término	Unidades
D_s	Decisión de Inversión Suelo	
RF	Ranking Final	
P_i	Prioridad asignada a cada instante de tiempo	
W_j	Ponderación asignada a cada instante de tiempo	%
IA_{agua}	Importancia Ambiental (agua)	%
IPA_{agua}	Importancia Proyectos Ambientales (agua)	%
IS_{agua}	Importancia Social (agua)	%
IPS_{agua}	Importancia Proyectos Sociales (agua)	%
IE_{agua}	Importancia Económica (agua)	%
IPE_{agua}	Importancia Proyectos Económicos (agua)	%
IA_{suelo}	Importancia Ambiental (suelo)	%
IPA_{suelo}	Importancia Proyectos Ambientales (suelo)	%
IS_{suelo}	Importancia Social (suelo)	%
IPS_{suelo}	Importancia Proyectos Sociales (suelo)	%
IE_{suelo}	Importancia Económica (suelo)	%
IPE_{suelo}	Importancia Proyectos Económicos (suelo)	%

Abreviaturas

Abreviatura Término

DRP	Diagnóstico Rural Participativo
ANP	Analytic Network Process (Proceso Analítico de Red)
DS	Dinámica de Sistemas
AbC	Adaptación basada en Comunidad
SDM	System Dynamic Model (Modelo en Dinámica de Sistemas)

Introducción

Como se presentará a lo largo de esta tesis doctoral, la toma de decisiones no es un asunto menor cuando se habla de evaluación y priorización de proyectos. En Colombia, la época actual de posconflicto ha abierto las puertas para que recursos públicos y privados se destinen a la ejecución de proyectos de desarrollo en las comunidades afectadas [1], [2], sin embargo, queda el interrogante ¿cómo evaluar y priorizar estos proyectos de forma que se atiendan las problemáticas, necesidades y expectativas de las comunidades a las cuales van dirigidos?

Si bien es cierto que el proceso de paz dejó la tarea de reparar a cientos de comunidades por la violencia sufrida durante muchos años, y, que en 2017 el documento final para la terminación del conflicto en Colombia [3] dio un conjunto de acuerdos enfocados a contribuir a la materialización de los derechos constitucionales de los colombianos teniendo como fundamento la participación ciudadana en la construcción de la paz, así como, en la planeación, la ejecución y el seguimiento a los planes, programas y obras en los territorios, que garanticen la sostenibilidad socio-ambiental, el desarrollo en la infraestructura, el uso efectivo del suelo rural y el ordenamiento del territorio [4], la realidad es que muchas zonas veredales afectadas continúan desamparadas o con proyectos ejecutados que no respondían a sus problemáticas o necesidades principales debido a la falta de procesos de participación ciudadana que alertaran de forma temprana a los entes de gobierno acerca de lo que realmente se requería en la comunidad.

En este punto, el problema se empieza a delimitar aún más, cuando se amplía la pregunta planteada al inicio de esta sección de la siguiente forma: **¿cómo la participación de la comunidad integrado con un análisis sistémico de la misma además del juicio de expertos puede contribuir a facilitar la toma de decisiones para la evaluación y priorización de proyectos verdes que mejoren la calidad de vida de sus habitantes?** Algunos trabajos mencionados en los capítulos a continuación, se hallan ciertamente relacionados. Sin embargo, si se ahonda en cada uno de los temas, es posible observar

que son escasas las investigaciones relacionadas en la literatura que logran incluir el conocimiento y las expectativas de la comunidad en un sistema o modelo que permita un análisis cualitativo o cuantitativo de escenarios actuales y futuros [5]–[7]. Igualmente, no se encontró evidencia de investigaciones donde además de lo anterior se considerara el juicio de expertos [8]–[10], con respecto a la evaluación y priorización de proyectos verdes, y, que además, tuviera en cuenta no solo la participación de la comunidad sino también, la información cualitativa y cuantitativa que se les presenta como escenarios con el fin de que la toma de decisiones sea informada [11]–[13]. Evidentemente, existen en la literatura, trabajos que han logrado desarrollar con éxito una u otra técnica y brindan riqueza dinámica y teórica. Sin embargo, la brecha de entendimiento entre comunidad y expertos, con respecto al desarrollo sostenible, es aún grande, dando espacio para nuevos trabajos en este sentido [14], [15].

Sobre esta base, se plantean 5 puntos sobre los cuales está construida la metodología: en primer lugar, la comunidad, entendida como la participación ciudadana, el aprendizaje social y el reconocimiento del entorno, sintetizados en los factores ciudadanos; en segundo lugar, el apoyo institucional, relacionado directamente con los proyectos verdes (alternativas) que se deben evaluar y priorizar para ejecutar en la zona; en tercer lugar la disponibilidad de recursos naturales (agua y suelo), seleccionados por ser los ejes del desarrollo en las comunidades rurales y de cuyo balance depende la realización de uno u otro proyecto; en cuarto lugar, las herramientas de modelado y simulación, las cuales permiten construir escenarios tomando parte de la realidad; y, en quinto lugar, los métodos de evaluación y priorización con los cuales es posible reunir los 4 puntos anteriores, por medio de variables cuantitativas y cualitativas y, donde además, se involucre el criterio de expertos.

Ahora bien, el concepto de cualitativo en la evaluación y priorización de proyectos presenta diferentes connotaciones económicas, financieras, institucionales, ambientales, sociales, y, se esperaría que, en la manera tradicional de llevar a cabo un proceso de selección, la información contenida en las propuestas fuera suficiente para realizar una adecuada calificación y elección. Tal planteamiento ha sido rebatido por varios autores en la literatura, exponiéndose la necesidad de integrar diversos métodos evaluativos con el fin de lograr una evaluación integral [16].

De esta forma, los conceptos cualitativos y cuantitativos que se tratan en esta investigación, también hacen referencia a los diferentes fenómenos (sociales, ambientales, económicos y de gobernanza) que se exhiben en una comunidad, es decir, sus tendencias y sus flujos dinámicos a lo largo del tiempo, por ejemplo, las relaciones entre variables como la disponibilidad del agua y la demanda de agua con la producción agrícola, la incidencia de los incentivos institucionales en la población y en la producción total pueden llevar al establecimiento de reglas de decisión o de parámetros que afecten todo el sistema.

Ahora bien, cuando se habla de proyectos verdes se refiere a iniciativas con sostenibilidad socio-ambiental [17], [18], en donde no solo resalte la protección de las zonas de interés ambiental, sino que a su vez se articulen esfuerzos por mejorar la oferta de oportunidades laborales, económicas y de bienestar para los hombres y mujeres pertenecientes a estas comunidades del posconflicto y siempre bajo los principios de participación que encaminen hacia un desarrollo sostenible [1], [19], [20].

Lo anterior en concordancia con la implementación de los acuerdos de paz en donde, entre otras cosas, se busca la construcción de desarrollo y bienestar en los territorios, así como la reducción de la brecha entre las zonas urbanas y rurales, a partir de la revisión y el análisis de las condiciones, necesidades y características de índole económico, cultural y social, que hacen de cada territorio y cada comunidad un escenario único en el que la participación de la ciudadanía permite que la toma de decisiones se realice de forma integral, coordinada y adaptada a cada caso [19].

Así mismo, se considera la participación ciudadana [21] como un factor fundamental en la metodología propuesta, ya que esta misma articulada con la intervención de las autoridades territoriales y civiles encargadas de la preservación de la libertad y los derechos de las víctimas del conflicto, contribuye a recuperar el tejido social, a partir del reconocimiento de las víctimas, la construcción de la memoria histórica y el propósito de no repetición, fomentando una cultura de tolerancia, respeto y confianza, perdidos a través de tantos años de conflicto armado [22].

Como se dijo anteriormente, no se encuentra literatura disponible cuando se indaga por aquellas investigaciones en donde los procesos de toma de decisiones para evaluar y

priorizar proyectos verdes, están ligados a una generación de información previa (escenarios), que posteriormente sirva a los expertos para emitir sus juicios al respecto.

Ahora bien, si se considera que la evaluación y priorización de proyectos son procesos claramente de múltiples criterios, el desarrollo e implementación de alguna solución de este tipo, es decir aplicando una metodología multicriterio, llevará implícita la minimización de los sesgos en la toma de decisiones y, además, puede aportar resultados positivos en cuanto a la pertinencia, idoneidad y transparencia de los proyectos, condiciones difíciles de lograr en las zonas designadas como “sujetos de reparación colectiva” [23] en Colombia, donde en el pasado circunstancias tales como el narcotráfico, el paramilitarismo, las guerrillas, la ausencia estatal, ocasionó el desplazamiento forzado y la pérdida de las capacidades productivas de las comunidades; y, en la actualidad (posconflicto), a pesar de las oportunidades que ha traído el proceso de paz, las agendas de desarrollo tanto rurales como urbanas, responden más a compromisos y obligaciones políticas y económicas. Por tanto, en ambos casos se observa cómo las problemáticas, las necesidades y las expectativas de la comunidad, son dejadas de lado [24] y se continúa a la espera de una solución óptima.

Por otro lado, el posconflicto posee un enfoque territorial [2], [19] donde la proposición y aplicación de proyectos de índole económico, socio-cultural y de memoria histórica deben ser contextualizados a las necesidades requeridas de manera que se propicien nuevas formas de desarrollo y al mismo tiempo se mejore la calidad de vida y se garantice la no repetición de la violencia [25]–[28]. Por lo tanto, la evaluación y priorización de proyectos, en el marco del posconflicto en Colombia, se también presenta como el dilema de hacia dónde direccionar las decisiones de inversión por parte no solo de los gobiernos locales, sino también del gobierno central, con miras a una reparación efectiva de los daños causados a la comunidad, y que permita superar el atraso de décadas de guerra e inatención del estado [29].

Por otra parte, si bien las actuales convocatorias buscan causar beneficios a la comunidad, estos beneficios, en muchas ocasiones, se postergan hasta la ejecución del proyecto o incluso son posteriores a su culminación, por lo que un cambio también significaría, generar beneficios a la comunidad relacionados con el aprendizaje social [30], [31] y la apropiación del conocimiento [32]–[34], desde el mismo proceso de evaluación y

priorización y, a su vez, aprovechar los valores y experiencia de la comunidad en el proceso como factores claves que pueden determinar el éxito del proyecto.

En resumen, se evidencia como en los párrafos anteriores, se plantea la necesidad de construir una metodología integrada de evaluación y priorización, sin limitarse a un análisis costo beneficio de las propuestas presentadas e incluyendo el conocimiento previo de la comunidad en cuánto a sus problemáticas, necesidades y expectativas y, así mismo, el de los expertos y, con ello, transformar la toma de decisiones, para que, además de elegir el mejor proyecto, se considere el factor ciudadano durante el proceso y se cause en la comunidad beneficios relacionados con el aprendizaje social y la apropiación del conocimiento.

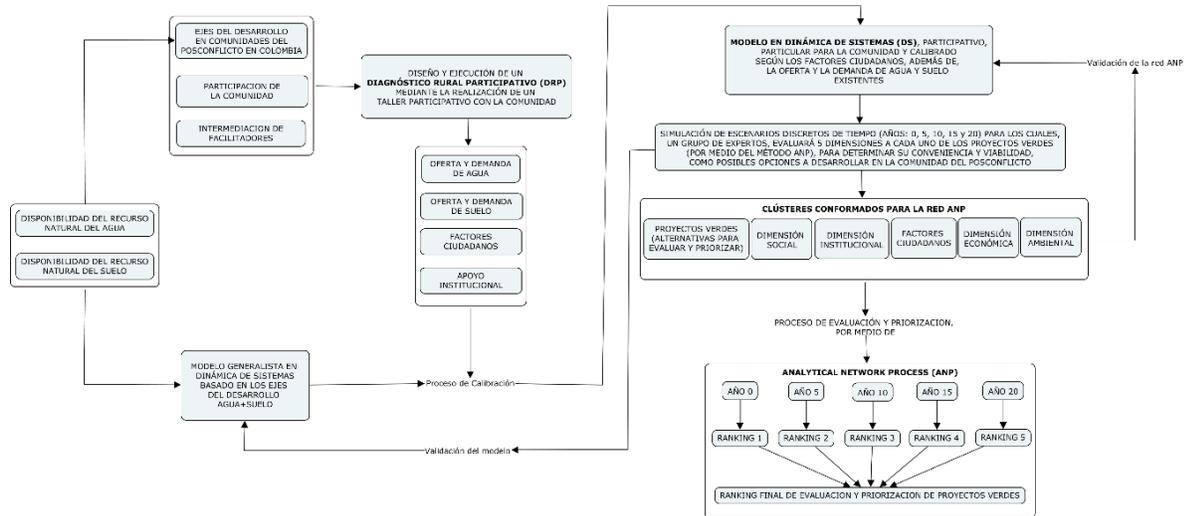
Si bien las matemáticas aplicadas presentan una amplia gama de alternativas para la evaluación y priorización [35]–[37], incluso de proyectos, a la hora de pensar una nueva metodología, se consideraron tres aspectos fundamentales sobre los cuales está basada esta investigación doctoral, el primero, un método que garantizará la participación de la comunidad, el segundo, un método que permitiera la toma de decisiones informadas, es decir, que en lo posible se pudiera poner en consideración escenarios o datos importantes de las comunidades y del entorno sobre los cuales se soporten las decisiones y, el tercero, un método donde se integre el juicio de expertos para la toma de decisiones.

Lo anterior, lleva a plantear la hipótesis según la cual, es posible evaluar y priorizar proyectos verdes en las comunidades del posconflicto en Colombia, empleando para ello, métodos participativos que ayuden en la modelación y simulación de un sistema de múltiples variables (cualitativas y cuantitativas) y, a través del cual se genere información relevante a nivel social, ambiental y económico, que pueda ser utilizada por los expertos para direccionar la toma de decisiones.

Así las cosas, la propuesta que se plantea en este documento de tesis doctoral, tiene como principal objetivo diseñar, construir y aplicar una metodología que permita la evaluación y priorización de proyectos verdes en las comunidades del posconflicto en Colombia, creando para tal fin un modelo de múltiples variables (cualitativas y cuantitativas), adaptado a cada comunidad y calibrado mediante los factores ciudadanos determinados en talleres participativos, que permita la generación de información en el corto, mediano y largo plazo,

y que sea relevante a nivel social, ambiental y económico, para que pueda ser utilizada por los expertos con miras a facilitar la toma de decisiones. La Figura I- 1, ilustra el hilo conductor desarrollado para la ejecución de la metodología propuesta en este documento.

Figura I- 1: Detalle de la metodología propuesta de evaluación y priorización.



Fuente: Elaboración Propia

Con el fin de alcanzar el objetivo propuesto, se plantean a continuación las cuatro etapas que serán tratadas en profundidad en los capítulos siguientes:

Etapas:

Etapas 1. Construir un modelo general, que tenga como ejes principales los recursos naturales del agua y del suelo, y el cual, pueda ser adaptado a cada comunidad donde se aplique y calibrado según los factores ciudadanos que se determinen en los talleres participativos que se realicen previamente con sus habitantes.

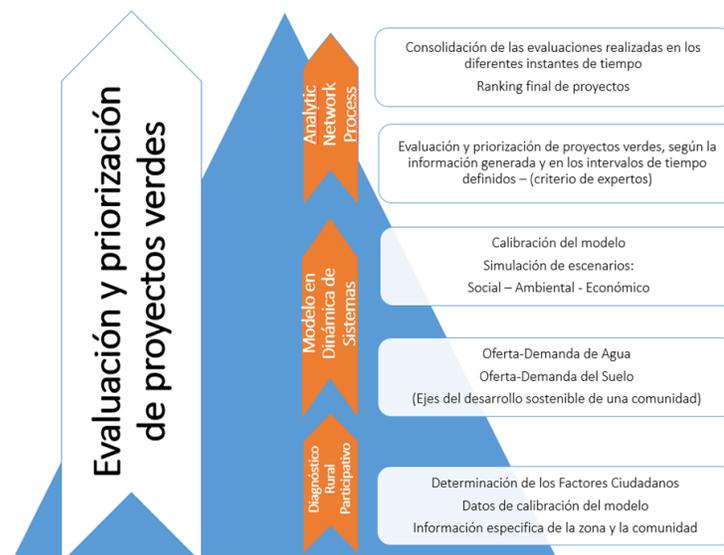
Etapas 2. Simular el modelo construido, considerando un horizonte de tiempo de 20 años, tomando la información resultante con intervalos de 5 años, desde el año 0 hasta el año 20.

Etapas 3. Partiendo del modelo construido, diseñar una red compleja que incluya los proyectos verdes a evaluar y priorizar y las variables principales del modelo.

Etapa 4. Evaluar y priorizar los proyectos verdes, en cada intervalo de tiempo considerado, utilizando los métodos de evaluación de multicriterio, para lo cual se propone el Proceso Analítico de Redes, en cual se emplea la escala de Saaty, como técnica de comparación entre pares.

La Figura I- 2, a continuación, resume las etapas mencionadas e introduce a la metodología propuesta que se expondrá en los capítulos 1, 2, 3 y 4 de la siguiente forma, el capítulo 1, presenta el método denominado Diagnóstico Rural Participativo, técnica empleada en los talleres desarrollados con la comunidad. En el capítulo 2, se expone el modelo construido mediante el método de Dinámica de Sistemas, modelo desarrollado con variables cualitativas y cuantitativas y empleado de forma general, para generar información relevante a nivel social ambiental y económico, que junto con los factores ciudadanos facilitará la toma de decisiones a los expertos en la evaluación y priorización de los proyectos verdes. En el capítulo 3, se despliega el proceso de evaluación y priorización mediante el método ANP (Analytic Network Process), en cual se emplea una red compleja construida a partir del modelo en Dinámica de Sistemas y utiliza la información generada y la escala de Saaty para la comparación entre pares que resultará en el ranking final de proyectos. A continuación, el capítulo 4, se presentan los estudios de caso llevados a cabo en dos comunidades del posconflicto en Colombia, la vereda El Pesebre, zona rural del municipio de Tame en el departamento de Arauca y la vereda California, zona rural del municipio de Fresno en el departamento de Tolima.

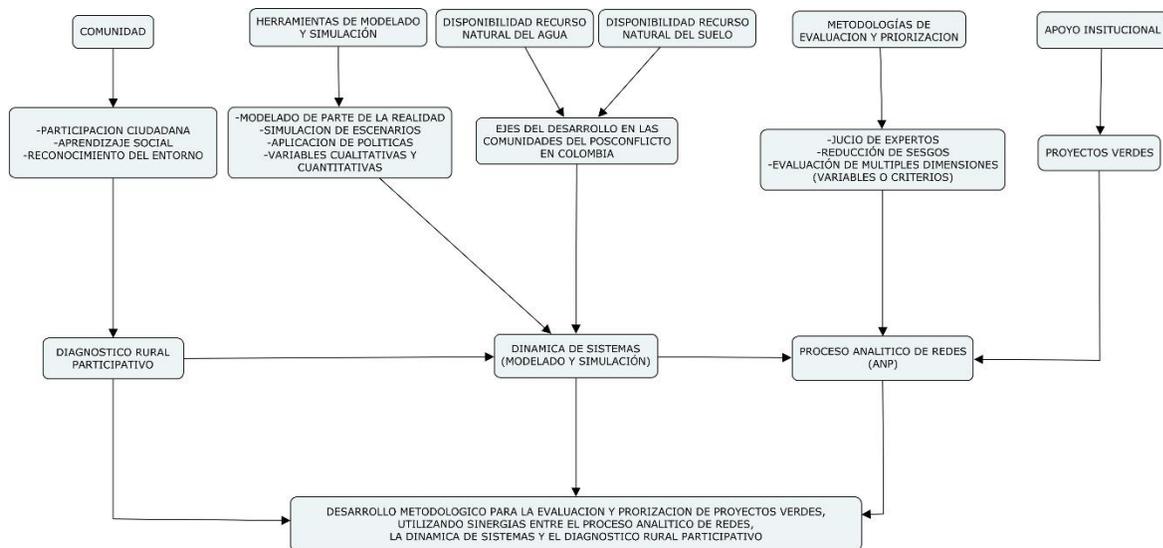
Figura I- 2: Etapas de la metodología propuesta de evaluación y priorización.



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, vale la pena aclarar, que siguiendo el método científico, que se expone en la Figura I- 3, se ha logrado llegar al presente documento de tesis. En este, se parte de la observación, y se evalúan una serie de eventos, a través de los cuales fue posible establecer la hipótesis inicial planteada. Ya algunos resultados se han presentado en eventos nacionales e internacionales, así como artículos de investigación producto de este proceso.

Figura I- 3: Construcción de la metodología.



Fuente: Elaboración Propia

1. Capítulo 1. El Diagnóstico Rural Participativo (DRP) en la evaluación y priorización de proyectos verdes

La participación ciudadana ha cobrado notable importancia desde la última década del siglo pasado, aunque siempre ha sido reconocida como el pilar fundamental de la democracia, en la actualidad su poder y aplicación siguen siendo limitados, especialmente en comunidades de escasos recursos, minorías raciales y grupos indígenas, quienes ven como la participación se degrada hasta sus niveles más bajos de adoctrinamiento y manipulación [21]. A medida que se avance en este capítulo, se observará, en primer lugar, una síntesis de los antecedentes del DRP desde su desarrollo, a partir de los documentos de trabajo del Banco Mundial para la evaluación participativa de la pobreza entre los años 1992 y 1994 [38], hasta sus aplicaciones más recientes y, en segundo lugar, el desarrollo metodológico propuesto para alcanzar los objetivos específicos planteados en la Etapa 1 de la evaluación y priorización de proyectos verdes.

1.1 Antecedentes

Actualmente, la brecha sigue siendo amplia entre la teoría y la realidad, pero desde finales del siglo XX, la participación ciudadana ha comenzado un proceso de resignificación mediante la fusión de enfoques y métodos que han evolucionado para permitir a las comunidades expresar, compartir y analizar sus necesidades y problemáticas a fin de que a través de su autoconocimiento puedan proponer, planear y actuar y, así, mejorar sus condiciones de vida. Los estudios realizados por Chambers [39] muestran que el poder y la popularidad de la evaluación rural participativa son en parte gracias a las inesperadas capacidades analíticas de las personas locales cuando son capitalizadas por medio de una relación relajada y de confianza con los facilitadores externos.

Igualmente, es Chambers [40] quien expone los retos, las potencialidades y los paradigmas a los que se enfrenta el DRP y en diferentes investigaciones asegura que con su rápida popularización surgen también inquietudes acerca de la calidad, lo cual podría conducir a que se presenten apresuramientos y formalismos. A pesar de ello, se continúa su uso y se exploran sus potenciales para la investigación en sistemas agrícolas, el empoderamiento de las comunidades menos favorecidas y la generación de políticas públicas.

Se considera entonces que el DRP está en concordancia con el cambio de paradigma en la ciencias sociales y naturales, la gestión empresarial y el desarrollo local basados en el aprendizaje social. Un ejemplo de esto, lo presentan Webber & Ison [41], en donde se utiliza el DRP para abordar problemas comunitarios desde la participación local y la experiencia de aprendizaje. Otro ejemplo, se expone en Binns, Hill & Nel [42], en el cual el DRP es empleado como estrategia de desarrollo ya que permite apreciar todo el panorama en las comunidades rurales e involucrar además las percepciones, las necesidades y el entendimiento de sus habitantes.

Es así como, la rápida aceptación y crecimiento del DRP permite que sean incorporados a esta metodología, herramientas de análisis más complejos, lo que contrastó con los ordenamientos matriciales que se hacían hasta el momento y que a su vez, agregó valor a los estudios actuales, pero sin comprometer la validez de los resultados [43].

Así mismo, el amplio espectro de aplicación del DRP ha permitido que sus resultados puedan ser utilizados en investigaciones de diferentes índoles, desde su uso como método extractivo y de fuente de datos sobre aspectos socioeconómicos y su integración con los sistemas de teledetección en la gestión problemas de recursos naturales en Senegal y Gambia, expuesto en Brown [44]; hasta el caso mostrado por Ling [45] donde el DRP se emplea como herramienta funcional de fácil uso y entendimiento tanto para el investigador como para la comunidad en la recopilación de información cualitativa para el desarrollo de proyectos turísticos. Adicionalmente, los estudios realizados recientemente por Solano-Lara [46] y Menconi [47], evidencian el uso del DRP como herramienta de empoderamiento de las comunidades y el diseño de políticas que les permitan enfrentar iniciativas no sostenibles y que les ayuden a preservar su patrimonio biocultural.

Ahora bien, en Colombia y Latinoamérica, los esfuerzos participativos han sido encaminados al diseño de los planes de ordenamiento municipales y la identificación de las zonas de atención prioritaria en el territorio. Poncela et al [48] resaltan el uso del diagnóstico rural participativo, basado en el aprendizaje social, como método adecuado para fortalecer la gobernanza local y la capacidad institucional.

Por tanto, cabe resaltar la gran importancia que tiene la participación de la comunidad en todas las etapas del proceso, desde el desarrollo de las actividades planteadas hasta la socialización y la concertación. El uso de métodos claros, dinámicos y adecuados durante la ejecución del DRP, así como las posturas independientes de los facilitadores (lejanas a las influencias de actores políticos e intereses particulares), serán los factores que lleven al éxito de este proceso.

Recientemente y con resultados positivos, los estudios divulgados en Galindo Montero et al [49] muestran el desarrollo e integración de la metodología de adaptación basada en comunidades (AbC) con el DRP para mejorar el uso y aprovechamiento del agua y la subsistencia alimentaria en comunidades indígenas del departamento de la Guajira. Además, evidencia los procesos de apropiación de la comunidad en los proyectos tecnológicos desarrollados, una vez la comunidad fue concientizada acerca de la incidencia del cambio climático y la necesidad de tomar medidas para su mitigación y adaptación a él.

Para concluir, las investigaciones realizadas por Castelli [50] y Hasler [51], muestran que hoy en día el DRP sigue siendo una herramienta vigente, aceptada y con resultados positivos, no solo para el manejo de problemáticas rurales relacionadas con la gestión de los recursos naturales sino también para análisis, presentación y desarrollo de proyectos transversales de impacto social (salud y educación) y económico (iniciativas productivas) en la comunidad, que tienen como objetivo final mejorar la calidad de vida de sus pobladores.

El posconflicto ha abierto la puerta a nuevos proyectos e investigaciones con comunidades víctimas con el fin de generar desarrollo y conocimiento. A pesar de esto, como se observa en la Figura 1- 1, es clara la desarticulación entre las investigaciones, los proyectos y la

comunidad, lo que ha impedido mejorar la calidad de vida a nivel social, económico y ambiental.

Figura 1- 1: Desarticulación entre la comunidad, la investigación y los proyectos.



Fuente: Elaboración Propia

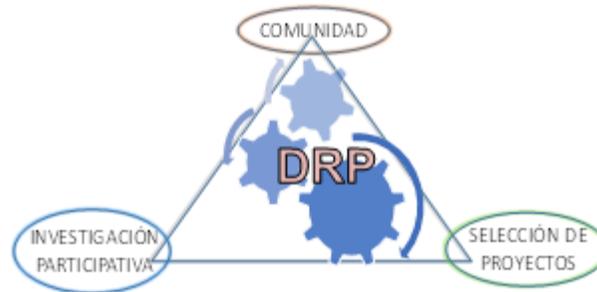
Las comunidades del posconflicto son muestra clara de tal situación y generalmente se les considera como entes pasivos que esperan recibir las iniciativas de los gobiernos locales o instituciones externas, pero no intervienen de ningún modo en la evaluación y priorización de los proyectos. Por lo anterior, las relaciones idealmente bilaterales entre comunidad, gobierno y proyectos, son en realidad relaciones unilaterales. De ahí que, primero, la información obtenida quede almacenada sin aplicación ni socialización, segundo, que los proyectos sean homogéneos, es decir, el mismo proyecto se aplica en diferentes comunidades sin tener en cuenta las problemáticas o las necesidades propias de cada comunidad, y, tercero, los objetivos de la comunidad y el gobierno sean diferentes y al parecer irreconciliables por cuestiones como rentabilidad, generación de conocimiento y bienestar social.

1.2 Desarrollo metodológico (Talleres Participativos)

Por lo anterior, la metodología propuesta, utiliza en principio el DRP como mediador entre las tres entidades, siendo esta una metodología cuyo objetivo es el conocimiento de la comunidad y por medio de la cual se obtienen resultados como la visibilización, la creación de interés y la generación de propuestas de proyectos que permitan mejorar el desarrollo

social, económico y ambiental de las comunidades. La Figura 1- 2, muestra cómo podría lograrse una integración entre estas tres entidades.

Figura 1- 2: Integración entre la comunidad, proyectos e investigación mediante DRP.



Fuente: Elaboración Propia

El DRP, como herramienta metodológica permite, entre otras cosas, identificar los principales modos productivos de la vereda, resaltar sus fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades y, además, reconocer en su entorno los factores socio ambientales que afectan el equilibrio en la región y aquellos con los cuales pueden mejorar su calidad de vida.

Como estrategia para la realización del DRP, fue diseñado un taller participativo con la comunidad, el cual, fue dividido en tres fases: diagnóstica, evaluativa y propositiva. La Tabla 1- 1, que se presenta a continuación, resume la estructura utilizada para el desarrollo de los talleres, así como el grupo de herramientas empleadas, las temáticas tratadas y los factores ciudadanos que se impactan. El objetivo principal fue la caracterización de la comunidad, de tal forma que la información pueda ser empleada en las siguientes etapas de la metodología propuesta de evaluación y priorización de los proyectos verdes formulados por el gobierno local o nacional además de las entidades privadas presentes en la región.

Esta investigación tiene como objetivo resaltar la labor del DRP en la caracterización de las comunidades víctimas del conflicto armado y propiciar a través de esta herramienta posibilidades de desarrollo en estos territorios. Se destaca la idoneidad del DRP al ser una herramienta ágil, dinámica, flexible y oportuna para la recolección y sistematización de

información y el autoconocimiento de la comunidad y su territorio. A diferencia de los métodos convencionales de investigación, donde en gran parte hay una verticalidad unilateral de arriba a abajo en los procesos, está busca el desarrollo de los procesos investigativos multilaterales de manera horizontal, transversal y vertical de abajo arriba, dando el rol principal y activo a los participantes de la comunidad y al territorio.

Por tal motivo, el desarrollo del DRP dentro de las comunidades rurales de posconflicto tiene el objetivo principal de brindar una caracterización del territorio y la comunidad desde un enfoque diferencial y alternativo, con el fin de identificar a nivel histórico las problemáticas vividas en el conflicto armado, a nivel económico los principales modos productivos, resaltando sus amenazas, debilidades, fortalezas y oportunidades, a nivel socio ambiental los factores que afectan el equilibrio ecológico y sociocultural del territorio; permitiendo así que pueda ser empleada por la comunidad misma, e instituciones públicas o privadas para la formulación de proyectos que propendan por el desarrollo comunitario, impidiendo el resurgimiento de grupos armados y violencia, y poder permitir el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad y del territorio.

Tabla 1- 1: Estructura de los talleres participativos.

ESTRUCTURA DE LOS TALLERES PARTICIPATIVOS					
Fase	Descripción	Objetivo	Actividades	Temática	Factor Ciudadano
Diagnóstica	Caracterización ambiental, social, territorial y económica de la comunidad	Reconocer las características socioeconómicas, productivas y ambientales del territorio	Matriz DOFA Diagrama de Venn Diálogo Semi-Estructurado	Economía y producción Medio Ambiente Uso de los recursos naturales Dinámica e impactos sociales	Ambiental Social Económico

Tabla 1- 1: (continuación)

ESTRUCTURA DE LOS TALLERES PARTICIPATIVOS					
Fase	Descripción	Objetivo	Actividades	Temática	Factor Ciudadano
Evaluativa	Caracterización del suelo en la comunidad	Reconocer los diferentes usos que la comunidad da al recurso natural del suelo	Mapa de recursos naturales y usos de la tierra. Caminata en el territorio. Diagrama de corte	Recursos hídricos Zonas de cultivos Zonas residenciales Zonas protegidas Problemáticas ambientales y sociales	Ambiental Económico
	Caracterización del recurso hídrico en la comunidad	Reconocer los diferentes usos que la comunidad da al recurso natural del agua	Diagrama de la cuenca. Matriz de evaluación de recursos. Matriz de acceso a los recursos		
Propositiva	Dialogo con la comunidad acerca de sus conflictos y propuestas de solución	Reconocimiento de los aportes que la comunidad en cuanto a la solución o el mejoramiento de sus procesos.	Matriz de análisis de conflictos. Matriz de propuestas soluciones e ideas.	Áreas de Conflicto Reconocimiento de las problemáticas Ideas y soluciones de la misma comunidad	Social

1.3 Factores Ciudadanos

Los talleres participativos propuestos permiten en conjunto con la comunidad, encontrar las problemáticas, las necesidades y expectativas a nivel social, económico y ambiental. Esto, a su vez, faculta al equipo facilitador para establecer los factores ciudadanos, es decir, componentes que tienen una marcada influencia en los proyectos e iniciativas que se realizan en la zona, y que además pueden expresarse de forma cuantitativa como un porcentaje. Tales factores son el factor ciudadano agua (FC_{agua}) y el factor ciudadano suelo (FC_{suelo}). Estos dos factores expresan las preferencias de la comunidad en cuanto al desarrollo de proyectos relacionados con los recursos naturales del agua y de suelo, según sea la situación particular de cada comunidad, además, al presentarse como una cantidad porcentual afecta de manera directa las simulaciones realizadas con el modelo e indirectamente los resultados de la evaluación y priorización de proyectos verdes.

Ahora bien, para cada uno de los factores FC_{agua} y FC_{suelo} , se definieron tres subcategorías, el sub factor social, el sub factor ambiental y el sub factor económico. De esta forma, se propone establecer la importancia, también en términos porcentuales, de aquellos tipos de proyectos que pueden tener mayor relevancia en la comunidad. La Tabla 1- 2, resume y define los parámetros con los que se determinó el factor ciudadano.

Tabla 1- 2: Factores ciudadanos determinados mediante el taller participativo.

Factor Ciudadano	Descripción	Unidades
IA Agua	Importancia del desarrollo Medio Ambiental basado en el recurso del agua frente al desarrollo económico y social, indicado por la comunidad	%
IPA Agua	Importancia desarrollo de Proyectos Ambientales con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (sociales, económicos), indicado por la comunidad	%
IS Agua	Importancia del desarrollo social basado en el recurso del agua frente al desarrollo medio ambiental y económico, indicado por la comunidad	%

Tabla 1- 2: (Continuación)

Factor Ciudadano	Descripción	Unidades
IPS Agua	Importancia desarrollo de Proyectos Sociales con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (ambientales, económicos), indicado por la comunidad	%
IE Agua	Importancia del desarrollo económico basado en el recurso del agua frente al desarrollo social o ambiental, indicado por la comunidad	%
IPE Agua	Importancia desarrollo Proyectos Económicos con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (ambientales, sociales), indicado por la comunidad	%
IA Suelo	Importancia del desarrollo Medio Ambiental basado en el recurso del suelo frente al desarrollo económico y social, indicado por la comunidad	%
IPA Suelo	Importancia del desarrollo de Proyectos Ambientales con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (sociales, económicos), indicado por la comunidad	%
IS Suelo	Importancia del desarrollo social basado en el recurso del suelo frente al desarrollo medio ambiental y económico, indicado por la comunidad	%
IPS Suelo	Importancia desarrollo de Proyectos Sociales con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (ambientales, económicos), indicado por la comunidad	%
IE Suelo	Importancia del desarrollo económico basado en el recurso del suelo frente al desarrollo social o ambiental, indicado por la comunidad	%
IPE Suelo	Importancia desarrollo Proyectos Económicos con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (ambientales, sociales), indicado por la comunidad	%

En este punto, es importante hacer claridad acerca de los factores ciudadanos considerados en esta investigación. Aunque pudiera parecer que algunos de ellos son redundantes, los factores ciudadanos responden a dos inquietudes diferentes planteadas por los facilitadores del taller participativo a la comunidad. En principio, cuando se habla de Importancia Económica, Social o Ambiental, se pretende conocer cuál sector (social, ambiental o económico) tiene más relevancia para sus habitantes y, se debería, por tanto, impulsar para lograr un desarrollo rápido y eficiente de la vereda. Ahora bien, cuando se habla de Importancia en Proyectos Económicos, Sociales o Ambientales, se busca que los participantes del taller reconozcan aquellos tipos de proyectos que consideran más adecuados, prioritarios o tal vez urgentes para la comunidad independientemente del sector en el que se ubiquen y de las consideraciones expresadas para las variables anteriores.

1.4 Conclusiones del capítulo

Durante este capítulo, se conocieron las ventajas y los alcances a los que se puede llegar con la participación ciudadana, y se expuso las bases de la metodología propuesta, constituidas en el conocimiento de la comunidad, en el aprendizaje social y en la disponibilidad de los recursos naturales, los cuales son sintetizados y cuantificados en los factores ciudadanos descritos y cómo los talleres participativos son la herramienta que permite recopilar, analizar y sintetizar la información necesaria de la comunidad para determinar estos factores con un enfoque social, ambiental y económico.

Sin embargo, aunque la literatura destaca la utilidad de la participación ciudadana [29], [46], [52], también muestra que por sí sola, corre el riesgo de ser excluida o minimizada en la toma de decisiones. Por tanto, en el siguiente capítulo se observará cómo son utilizados los factores ciudadanos encontrados, dentro de la metodología propuesta, para las siguientes etapas del proceso de evaluación y priorización de proyectos verdes.

2. Capítulo 2. Hacia la toma de decisiones para la evaluación y priorización de proyectos verdes. Integración entre la Dinámica de Sistemas y el Modelado Participativo

La revisión sistemática de la literatura acerca del modelado permite en principio, reconocer la validez de los análisis cualitativos de los sistemas realizados mediante la Dinámica de Sistemas [53] y, aún más de los sistemas de ecuaciones diferenciales (sistemas dinámicos) que pueden derivarse de los primeros y a su vez, representar un sistema socio económico ambiental complejo [54]. Ahora, si se investigara aún más, por aquellos modelos en los cuales los intereses o expectativas de la comunidad se han plasmado de forma directa o indirecta en el modelo, mediante la participación de los ciudadanos, los reportes son más escasos [55], [56]. En este sentido, el siguiente paso propuesto en la metodología, reconoce la pertinencia de los análisis resultantes del modelado participativo y los beneficios que proporciona a la comunidad.

La metodología propuesta en esta investigación se apoya en lo anterior, mediante la exploración de diferentes ecuaciones diferenciales que pueden representar la dinámica socio económica y ambiental de una comunidad, con el fin de facilitar la toma de decisiones en lo relacionado a la evaluación y priorización de proyectos de verdes que allí se pudieren llevar a cabo.

Para profundizar, el empleo de modelos socio-económicos basados en dinámica de sistemas, en el tratamiento de problemas ambientales, ya se reportaba desde 1989 con Sterman [57] y otros autores que empezaron a plantear las relaciones entre la economía, la sociedad y los aspectos ambientales, y se comenzó a introducir conceptos como la huella ecológica y recientemente la huella hídrica [58].

Desde la introducción de la dinámica de sistemas [59], [60], su aplicación al desarrollo de modelos sociales ha sido también una práctica común [61], [62]. La dinámica de sistemas hace posible modelar eventos sociales, ambientales o económicos, y de esta forma representar la problemática de interés para una comunidad y simular acciones como la aplicación de políticas que pueden solucionar o mitigar el problema.

Cada comunidad posee diversas cualidades y está expuesta a diferentes factores, así mismo, sus problemáticas, necesidades y expectativas difieren según su ubicación geográfica, su grado actual de desarrollo y la misma atención dada por el gobierno. Para que el modelo construido pueda aplicarse a diferentes comunidades, se plantea un modelo “generalista”, mediante el cual sea posible ajustar ciertas características ambientales, sociales y económicas, particulares de cada sociedad, que permitan obtener información clave que deba ser considerada (y evaluada) para la ejecución de proyectos verdes, en el caso de esta investigación, aquellos relacionados con el uso del agua y el uso del suelo.

Un sistema obtenido mediante el modelado participativo, podría ser clasificado según el grado de profundidad que tenga la participación de la comunidad. La escalera de la participación propuesta por Arnstein (1969) [21], divide a esta en tres grupos, el primero donde no hay participación ciudadana, el segundo donde la participación es simbólica y, el tercero donde la participación se transforma en el empoderamiento de la comunidad [63]. Además, un sistema participativo, permite mejorar ciertas cualidades en los marcos ecosistémicos según el tipo de modelado participativo que se emplee. La integración de valores sociales, el mejoramiento del aprendizaje social y el desarrollo de capacidades, así como, el incremento en la transparencia, el poder de mediación y la construcción de confianza [64], son cualidades que pueden afectar dramáticamente la definición y la entrega de los servicios del ecosistema.

Así las cosas, el primer paso en la elaboración del modelo consiste en la identificación del problema. En nuestro caso, el problema radica en cómo mejorar la capacidad de evaluación y priorización de proyectos verdes, sabiendo de ante mano que las principales problemáticas y el atraso en el desarrollo de las comunidades que hacen parte del posconflicto en Colombia [29], [65], están relacionadas con la disponibilidad y el uso de los recursos naturales del agua y el suelo [3], [22], [66], [67]. Dicha capacidad de evaluación y priorización, se entiende como la selección de los proyectos más adecuados que pueden

responder a las problemáticas, necesidades y expectativas de la comunidad [9], [18], [46], [52], [68].

El segundo paso consistió en el planteamiento de la hipótesis, mediante la cual se expone que es posible anticipar hacia dónde y en que instante de tiempo direccionar las inversiones en proyectos verdes, teniendo en cuenta, primero, la disponibilidad y el uso de los recursos naturales del agua y el suelo (relación de oferta y demanda) y, segundo, los factores ciudadanos determinados directamente con la comunidad mediante talleres de participación.

En el tercer paso para el desarrollo del modelo, se realizó el diagrama de bucle causal o CLD (Causal Loop Diagram, ver Figura 2- 1) [57], [69]–[72], en el cual se identificaron las relaciones entre las variables de estado establecidas (oferta y demanda de agua; oferta y demanda de suelo; y, población), así como los diferentes parámetros, entre ellos los factores ciudadanos. El cuarto paso correspondió a la elaboración del diagrama de flujos y niveles o SFD (Stock and Flow Diagram, ver Figura 2- 2) [57], [71]–[73], en el cual el diagrama de bucle causal se complementa con las variables secundarias y los parámetros con el fin de simular el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.

Ahora bien, para el sistema propuesto, se podrá notar que, debido a las diferentes preferencias de una comunidad en particular, plasmadas en el modelo, la toma de decisiones del inversor (las instituciones, por ejemplo), pueden variar hacia los proyectos verdes que más las satisfacen y que pueden presentar mayor apoyo para su ejecución. En este sentido, trabajos previos de otros autores, han encontrado que son los proyectos con apoyo de la comunidad aquellos que mayor probabilidad tienen de llegar a un término exitoso [50].

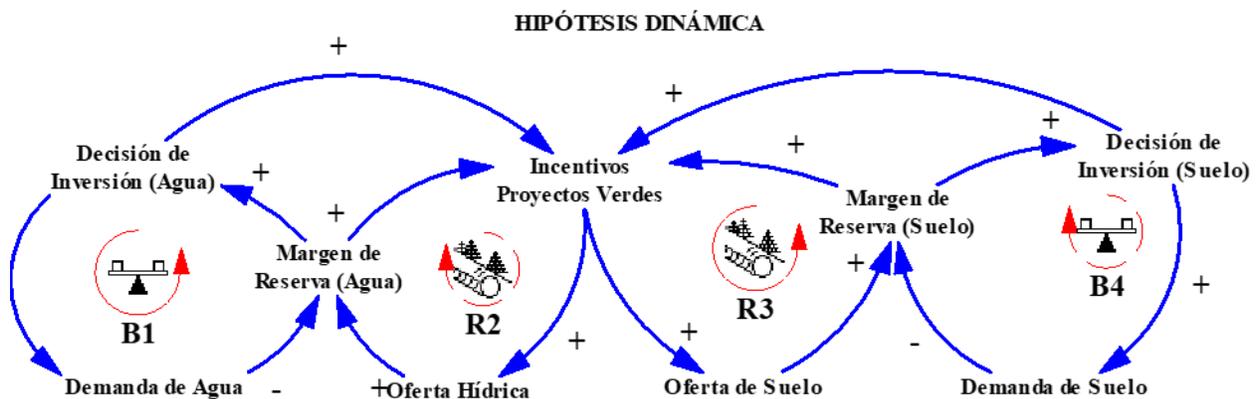
Para esta investigación se tomó como base el modelo definido por Castrillón-Gómez, Valencia-Calvo y Olivar-Tost [29]. Este sistema utiliza los principios de la oferta y la demanda expuestos en Dynner [74], [75], pero ahora aplicados al diseño de una estructura de desarrollo sostenible, en la cual, dos atributos principales son utilizados como puentes entre los demás atributos que completan el sistema, el primero está determinado por la relación entre la oferta y la demanda de agua y, el segundo determinado por la relación

ente la oferta y la demanda de suelo y los puentes hacen referencia a los márgenes de reserva del agua y del suelo.

Ahora bien, los márgenes de reserva hacen referencia a la disponibilidad de cada recurso existente según su uso y se utilizaron como los elementos que permitieron interactuar entre los incentivos para proyectos verdes y la inversión que podría disponer el gobierno local para la ejecución de iniciativas en la comunidad.

De acuerdo con la Figura 2- 1, la hipótesis principal para la construcción del modelo es la afectación que tienen la toma de decisiones de inversión y los incentivos a la inversión en proyectos verdes, según la disponibilidad de los recursos naturales del agua y del suelo existentes y el factor ciudadano establecido mediante el taller participativo realizado previamente con la comunidad.

Figura 2- 1: Diagrama de bucle causal (CLD), Hipótesis dinámica inicial.



Fuente: Tomado de Castrillón-Gómez, Valencia Calvo y Olivar-Tost [4]

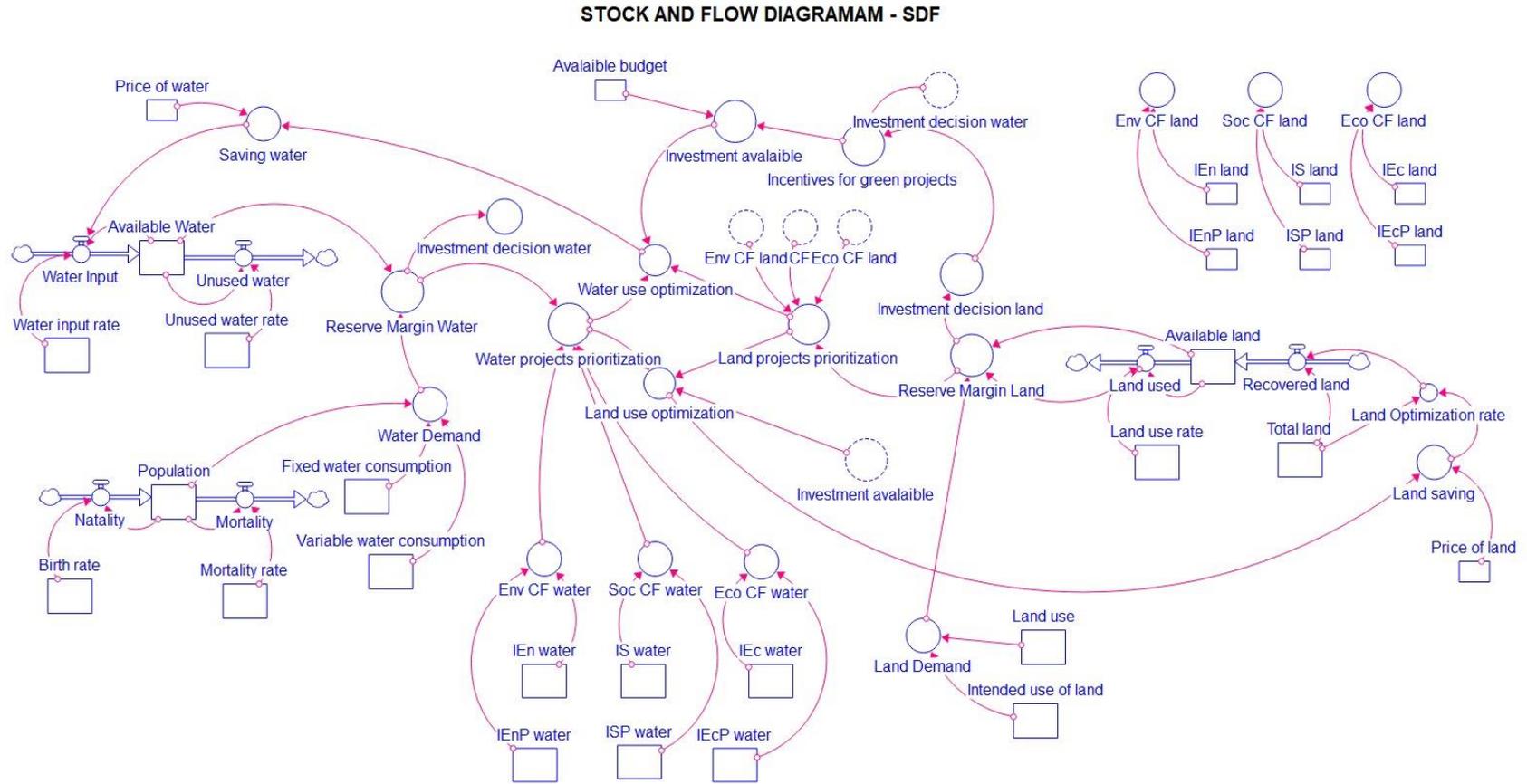
Si bien resulta útil la construcción de un margen de reserva como señal de seguimiento al estado actual de los recursos, también es importante determinar el grado de influencia representado por el factor ciudadano, que la comunidad tiene sobre la priorización de proyectos verdes, de tal manera que no solo sea posible intervenir para lograr un equilibrio entre el uso y el aprovechamiento de los recursos, sino también de acuerdo con las problemáticas, necesidades o expectativas de los habitantes.

En cuanto a los ciclos de balance B1 y B4 que se muestran en la Figura 2- 1, estos corresponden con la demanda de agua y la demanda de suelo, respectivamente. Ahora, los ciclos de refuerzo R2 y R3, los cuales se encargan de estabilizar el uso de los recursos gracias a su efecto de bola nieve, se ven afectados también por los factores ciudadanos definidos, ocasionando que la priorización se incline proporcionalmente hacia el tipo de proyectos que la comunidad esperaría obtener. Mediante este planteamiento, dependiendo de los márgenes de reserva del agua y del suelo y de los factores ciudadanos, se realizarán nuevas inversiones en proyectos verdes. Así como los márgenes de reserva negativos pueden indicar escasez en uno u otro recurso, los factores ciudadanos indicarán en que priorizar las inversiones cuando esto ocurra, información que puede resultar clave para replantear el tipo de proyectos que se han de desarrollar en la comunidad y de cierta forma aumentar sus probabilidades de éxito.

Por otro lado, cuando los márgenes de reserva resultan positivos, se evidencia un equilibrio en el uso de los recursos o abundancia de los mismos, en este caso, aunque el factor ciudadano no se hace evidente dentro del modelo, ya que de todas formas los proyectos podrían realizarse, si resulta útil para la toma de decisiones, ya que además proporciona información en relación a las necesidades o expectativas de la comunidad y en este sentido plantear y desarrollar las mejores iniciativas. Cabe aclarar que esta investigación está enfocada para la priorización de proyectos en zonas donde el recurso del agua o del suelo puede escasear en algún momento.

El diagrama de flujos y niveles presentado a continuación en la Figura 2- 2, corresponde a una adaptación de los trabajos realizados por Castrillón-Gómez, Valencia-Calvo y Olivartost [24], [29], y en este se exponen las variables del modelo planteado, incluyendo para esta investigación una variable de estado adicional que corresponde a la población. La hipótesis dinámica mostrada anteriormente, se detalla ahora en un diagrama de flujos y niveles (SFD) [60], [75], [76], en el que se consideran las tres variables de estado, representadas por rectángulos y las demás consideradas como variables auxiliares, simbolizadas por círculos. Las conexiones entre las diferentes variables representan los flujos de información, por medio de las cuales se realiza el control del flujo de material en las variables de estado.

Figura 2- 2: Diagrama de flujos y niveles.



Fuente: Adaptado de Castrillón Gómez, Valencia Calvo y Olivar-Tost [29]

Del esquema tenemos que los incentivos a los proyectos verdes se modelan como una función por tramos, en la que las inversiones dependen de la decisión de inversión (agua) y de la decisión de inversión (suelo), mientras que las variables de optimización de uso del agua y optimización del uso del suelo, responden no solo al factor financiero (o inversión disponible), sino también a la priorización de proyectos, entendida como los factores ciudadanos (ambientales, sociales y económicos) anteriormente descritos y ya definidos con la comunidad mediante el desarrollo de los talleres participativos. Así, se hace posible sintonizar el modelo de forma tal que, el contexto, las necesidades y las expectativas de la comunidad quedaran plasmadas en el sistema de una forma cuantitativa, situación que usualmente no es considerada dentro de los esquemas de gobierno o la representación institucional centralizada. Las decisiones de inversión en agua y en suelo, hacen referencia a la disponibilidad de estos recursos naturales, el cual es específico para cada comunidad, por lo tanto, estas variables en conjunto con los factores ciudadanos son las que afectarán en mayor o menor proporción el modelo y, en consecuencia, la toma de decisiones en relación a los proyectos verdes que se planea desarrollar en la zona.

2.1 Sistema de ecuaciones

El diagrama de flujos y niveles presentado en la Figura 5 es también un objeto matemático y es posible escribirlo como un sistema de ecuaciones diferenciales que representan la oferta y la demanda de los recursos naturales del agua y del suelo como motivadores de las inversiones en proyectos verdes.

$$\begin{aligned} \dot{r}_1 &= -ar_1 + W \\ \dot{r}_2 &= -br_2 + L \end{aligned} \quad (1)$$

En la ecuación (1), r_1 corresponde al recurso del agua disponible, r_2 corresponde al recurso del suelo disponible y con a como el índice de agua no contabilizada y b como la tasa de utilización del suelo.

En cuanto a la variable Aportes de agua, una de las principales contribuciones de este recurso, está dada por los niveles de precipitaciones anuales, estos variarán según la comunidad en la cual se desarrolle el proceso y en general se trabajará con un promedio

anual, en unidades de $mm/año$. W , como se muestra en la ecuación (2), además de estar definida como una función continua, depende del ahorro de este recurso (A_{agua}) en función del precio por metro cúbico ($Precio_{agua}$), el cual es variable para región según su disponibilidad, y se expresa en unidades de $pesos/m^3$. L es la cantidad de suelo que se logra optimizar para el desarrollo de proyectos sostenibles, por ejemplo, terrenos tecnificados o en proceso de tecnificación expresados en hectáreas Ha. Ahora bien, L , como se muestra en la ecuación (3), es también una función continua que depende del ahorro que se logre en este recurso, y está expresado como A_{suelo} en función del precio por hectárea, nuevamente este es un parámetro que es propio de la zona donde se trabaje y el valor se expresa en unidades de pesos por hectárea.

$$A_{agua} = \frac{O_{agua}}{Precio_{agua}} \quad (2)$$

$$A_{suelo} = \frac{O_{suelo}}{Precio_{suelo}} \quad (3)$$

Ahora bien, la Optimización del uso del suelo y del agua (O_{suelo}) y (O_{agua}), ver ecuaciones (4) y (5), están definidas como los porcentajes entre los cuales se divide la inversión disponible (I), así:

$$O_{suelo} = \left(1 - \frac{P_s}{P_a + P_s}\right) * I \quad (4)$$

$$O_{agua} = \left(1 - \frac{P_a}{P_a + P_s}\right) * I \quad (5)$$

En donde, P_a , corresponde a la Priorización de Proyectos Agua y está definida como una función escalonada que depende del margen de reserva del agua (MR_a) y del factor ciudadano hallado mediante la participación de la comunidad, el cual puede ser social (FC_s), ambiental (FC_a) y económico (FC_e). Así mismo, P_s corresponde a la Priorización de Proyectos Suelo y está definida como una función escalonada que depende del margen de reserva del suelo (MR_s) y del factor ciudadano hallado mediante la participación de la comunidad (FC_s), (FC_a), (FC_e), ya definidos anteriormente.

Con respecto a los márgenes de reserva (MR_a) y (MR_s), estos miden la relación entre la oferta y demanda de agua y la oferta y demanda de suelo, respectivamente. Por tanto, la Priorización de Proyectos de Agua (P_a) y la Priorización de Proyectos de Suelo (P_s), quedan definidas como se muestran a continuación en las ecuaciones (6) y (7).

$$P_a = \begin{cases} MR_a * FC_s, & MR_a < 0.1 \\ MR_a * (FC_s + FC_a), & 0.1 < MR_a < 0.6 \\ MR_a * (FC_s + FC_a + FC_e), & MR_a > 0.6 \end{cases} \quad (6)$$

$$P_s = \begin{cases} MR_s * FC_s, & MR_s < 0.1 \\ MR_s * (FC_s + FC_a), & 0.1 < MR_s < 0.6 \\ MR_s * (FC_s + FC_a + FC_e), & MR_s > 0.6 \end{cases} \quad (7)$$

Queda por definir, la inversión disponible, la cual corresponde a la relación entre el presupuesto disponible para la inversión en proyectos y los incentivos destinados a los proyectos verdes. Para el modelo propuesto, esta variable Inversión Disponible I , tendrá un valor inicial de cincuenta millones de pesos y se variará para obtener diversos escenarios de análisis. De otra parte, los incentivos a los proyectos verdes I_p se definen como los estímulos a las iniciativas en desarrollo sostenible y, en este caso, corresponde al promedio entre la decisión de inversión en agua y la decisión de inversión en suelo (D_{agua} y D_{suelo}) multiplicado por la inversión I . Las decisiones de inversión, son funciones escalonadas que dependen de sus correspondientes márgenes de reserva y se muestran en las ecuaciones (8) y (9).

$$D_{agua} = \begin{cases} 1, & MR_a < 0.1 \\ 0.6, & 0.1 < MR_a < 0.6 \\ 0.1, & MR_a > 0.6 \end{cases} \quad (8)$$

$$D_{suelo} = \begin{cases} 1, & MR_s < 0.1 \\ 0.6, & 0.1 < MR_s < 0.6 \\ 0.1, & MR_s > 0.6 \end{cases} \quad (9)$$

Continuando ahora con el Margen de Reserva del agua y el Margen del suelo, ecuaciones (10) y (11), estas dos variables se entienden como una medida de seguridad en el sistema, y tienen la finalidad de alertar a los tomadores de decisiones acerca de una posible escasez de los recursos, por tanto, están ligadas directamente a la disponibilidad

de los mismos al igual que a su demanda. En el caso del recurso natural del agua, un margen de reserva inferior al 10%, indicará que son necesarias acciones de control, o de inversión en proyectos, que restablezcan el equilibrio del sistema. Por el contrario, cuando los niveles en el margen de reserva del suelo caen por debajo de 10%, la toma de decisiones debe centrarse en la optimización de tierras a fin de que los proyectos escogidos maximicen la productividad del uso suelo. Es de aclarar que el valor dado al margen de reserva puede ser ajustado en el modelo de acuerdo con las necesidades del contexto de aplicación.

$$MR_a = \frac{\text{Available water} - \text{Water Demand}}{\text{Available water}} \quad (10)$$

$$MR_s = \frac{\text{Available land} - \text{Land Demand}}{\text{Available Land}} \quad (11)$$

Ahora bien, la demanda de Agua, ecuación (12), está relacionada directamente al consumo del recurso por parte de la población. Para está investigación el consumo fue fijado de acuerdo con parámetros históricos de consumo en la región. Así mismo, el crecimiento de la población, será otro factor que determine la demanda. Por otro lado, la demanda de suelo, ecuación (13), corresponde a la relación entre la cantidad de suelo utilizado en el momento y la tasa denominada intención de uso de suelo, esta última es tomada de los planes de desarrollo estructurados por las entidades de gobierno para la región.

$$\begin{aligned} \text{Water Demand} & \quad (12) \\ &= (\text{Variable Water Consumption} + \text{Fixed Water Consumption}) \\ & \quad * \text{Population} \end{aligned}$$

$$\text{Land Demand} = \text{Land Use} * \text{Intended Use of Land} \quad (13)$$

2.2 Parámetros y supuestos en el modelo en Dinámica de Sistemas

A continuación, la Tabla 2- 1 muestra los parámetros utilizados durante las simulaciones, su descripción, las unidades de medida de cada uno de ellos y, en los casos de estudio que se presentan más adelante, en el Capítulo 4, la fuente de la cual fueron obtenidos. Es importante señalar que el presupuesto disponible para inversión puede cambiar, pero para esta investigación se asume un valor de promedio de 50 millones de pesos. Esta cantidad es ajustable según las circunstancias financieras establecidas por cada municipio.

Tabla 2- 1: Parámetros utilizados para la simulación del modelo.

Parámetro	Descripción	Unidades
Tasa Aportes Agua	Cantidad de agua anual proporcionada por los diferentes afluentes de la zona	%
Tasa Agua No Utilizada	Cantidad de agua anual que no es consumida ni utilizada	%
Consumo Variable Agua	Cantidad de agua consumida superior al promedio anual	metros cúbicos
Consumo Fijo de Agua	Cantidad promedio de agua consumida anual	metros cúbicos
Población	Número de habitantes	personas
Precio Agua	Valor al que se paga el m ³ de agua	pesos
Presupuesto Disponible	Cantidad de dinero disponible para inversión	millones de pesos
Precio Suelo	Valor pagado por una Ha de tierra en promedio	millones de pesos
Uso del Suelo	Cantidad de suelo en Ha utilizado por año	Ha
Uso Proyectoado Suelo	Proporción de tierra (respecto al total) que se planea utilizar para los siguientes años	%
Tasa Utilización Suelo	Proporción de tierra (respecto al total) que es utilizado cada año	%
Suelo Total	Total de Ha de suelo (utilizadas y no utilizadas)	miles de Ha

En cuanto a los supuestos para la elaboración del modelo se consideró trabajar con recursos naturales del agua y el suelo ya que, estos corresponden con los ejes del desarrollo en las comunidades del posconflicto [1], [2] y se constituyen la base primordial de cualquier proyecto que se considere a realizar al interior de cada comunidad. Por otro lado, aunque en el diseño del modelo se considera la variable Población, el resultado de los talleres participativos mostró que, el aumento en el número de habitantes no ha sido significativo durante los últimos 20 años, por tanto, en los dos casos de estudio realizados la población se trabajó bajo el supuesto de un número de habitantes constante.

Así mismo, dentro del modelo fueron considerados supuestos como la relaciones entre la disponibilidad de los recursos expresadas en variables como Avalaible Water, Avalaible Land, los márgenes de reserva Reserve Margin Water y Reserve Margin Land, y, las variables de inversión Investment Avalaible e Incentives for Green Projects. Estas relaciones se expresaron bajo los supuestos presentados en las variables Investment Decision Water e Investment Decision Land, en la primera variable se advierte que a medida que disminuye el nivel en el margen de reserva del recurso del agua, mayor deberá hacerse la inversión a fin de subsanar las necesidades por tales escases, con el fin de que los recursos vuelvan a un nivel normal, en la segunda variable, por el contrario, se señala que, a medida que disminuye el nivel en el margen de suelo disponible, menores serán las inversiones que puedan ejecutarse. Lo anterior con el objetivo de garantizar un equilibrio en estas variables.

Por otra parte, la relación entre los factores ciudadanos y las variables de los márgenes de reserva (Reserve Margin Water y Reserve Margin Land) se expresó bajo los supuestos presentados en las variables Water Projects Prioritization y Land Projects Prioritization. La primera variable señala que, a medida que disminuye el nivel en el margen del recurso del agua, los factores ciudadanos, económico y ambiental serán reducidos o eliminados con el fin de dar prioridad al factor social y por ende a los proyectos de esta naturaleza. Por otro lado, la segunda variable indica que, a medida que aumenta el nivel en el margen de reserva del suelo, los factores ciudadanos serán incluidos, siempre dando prioridad al factor social, continuando con el ambiental y por último el económico si los niveles muestran abundancia en el recurso.

Ahora bien, el ahorro o el gasto que puede presentarse en ambos recursos naturales, se expresó bajo los supuestos presentados en las variables Water Use Optimization y Land Use Optimization. Estas dos variables indican la proporción que debería guardar la inversión entre los proyectos relacionados con agua y los proyectos de relacionados con el suelo. Lo anterior tomando como base la priorización realizada entre las variables Water Projects Prioritization y Land Projects Prioritization.

De otra parte, factores sociales como distinción de género, edad, roles y otras políticas públicas y de gobierno fueron considerados como variables exógenas, es decir, no hicieron parte de la construcción del modelo pero que se indican con el fin de hacer claridad al respecto a su desarrollo. Estos factores no fueron incluidos en el modelo ya que en tales comunidades no se han visto manifestados en épocas anteriores y por tanto no reflejan la realidad que viven estos territorios. Sin embargo, al considerarse el modelo una construcción participativa y propia de cada comunidad, para futuras aplicaciones, podría considerarse su inclusión de acuerdo con el contexto que se logre percibir en los talleres con sus pobladores.

Así mismo, factores de cambio climático y huella ecológica también fueron consideradas como variables exógenas, ya que estas variables pueden representar cambios en la disponibilidad de los recursos, pero a muy largo plazo, y no en el horizonte tiempo para el que fue planteado el modelo, en consecuencia, podría decirse que a corto y mediano plazo los resultados tampoco se verán alterados. De nuevo, es importante hacer énfasis en que al ser este un modelo generalista y participativo, tales variables pueden ser incluidas para investigaciones futuras que consideren un horizonte de tiempo más amplio o en donde se pretenda conseguir otro tipo de información.

Por último, es de aclarar que, en el modelo propuesto no se está incluyendo ni modelando la política pública rural de Colombia ya que, los supuestos bajo los cuales se elaboró esta tesis, incluyeron que el modelo es válido cuando se aplica en el contexto de comunidades rurales con poblaciones pequeñas, desatendidas por el Estado y, que al haber sido afectadas por el conflicto armado presentan problemáticas, necesidades y expectativas diferentes que deben ser atendidas desde otros puntos de vista y nuevas propuestas investigativas.

2.3 Validación del modelo en Dinámica de Sistemas

Las técnicas de análisis de sensibilidad son utilizadas frecuentemente para evaluar la relación de importancia entre los factores de entrada que se utilizan en el modelo y, de este modo, determinar la incertidumbre en las salidas que son de interés para el modelo propuesto [77], [78]. Los objetivos de realizar la validación del modelo por medio de una u otra de las técnicas que existen para el análisis de sensibilidad son primero, determinar aquellos factores de entrada cuya incertidumbre puede afectar la salida y, segundo, reducir al máximo la varianza de estas salidas de interés por medio del control de estos factores que son inciertos y que se encuentran en un intervalo con un ancho diferente de cero.

Existen tres casos de análisis de sensibilidad para los modelos basados en dinámica de sistemas, sensibilidad numérica, sensibilidad en el modo de comportamiento y sensibilidad ante la implementación de políticas. Luego de haber definido el modelo que se aplicará para generación de escenarios en la evaluación y priorización de proyectos verdes, interesa explorar la sensibilidad numérica, ya que, a través de esta, es posible evidenciar los ajustes que se requieren realizar con el fin de validar las hipótesis planteadas inicialmente.

La sensibilidad numérica se presenta cuando los cambios en los supuestos, alteran los resultados numéricos. Por ejemplo, si se cambia la tasa de entrada de agua en el modelo se observará como es alterada la salida en la variable de nivel Agua Disponible. Todos los modelos exhiben sensibilidad numérica [57] y es posible observar como un conjunto reducido de factores escalares puede caracterizar la incertidumbre multidimensional de forma resumida, pero exhaustiva [77], [78]. El modelo propuesto para esta tesis, exhibe dos parámetros que son interés y que están relacionados directamente con las variables de nivel, la tasa de entrada de agua, en la variable de nivel Agua Disponible y la tasa de uso del suelo, en la variable de nivel Suelo Disponible. Para llevar a cabo el análisis de sensibilidad numérico se tomó una ventana para la tasa de entrada de agua entre 0,0 y 0,45, y una ventana para la tasa de uso del suelo entre 0 y 0,045, estos rangos fueron contruidos metodológicamente a partir de la evaluación de casos extremos y un análisis de contractividad [79], [80], con los que se estudió el comportamiento dinámico del modelo y se determinaron los valores entre los cuales era válido para la hipótesis planteada. Este análisis se presenta con mayor detalle en el Anexo A, en la parte final de este documento.

Adicionalmente, para el análisis de sensibilidad se utilizó el método Montecarlo que está incluido en el paquete de simulación VensimPro. Ver Figura 2- 3 y Figura 2- 4.

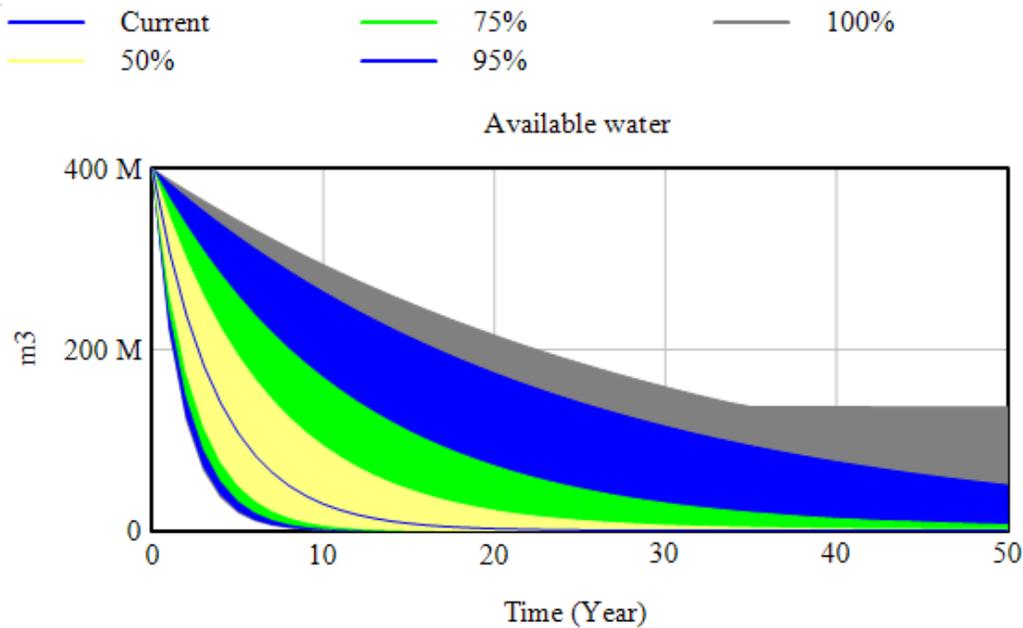
Así mismo, el análisis de sensibilidad fue realizado en otros puntos que pueden resultar de utilidad a los tomadores de decisiones durante las siguientes etapas de la metodología. De esta forma se analizan las variables Margen de Reserva de agua (ver Figura 2- 5), Margen de reserva de suelo (ver Figura 2- 6), Priorización de proyectos agua (ver Figura 2- 7) y Priorización de proyectos suelo (ver Figura 2- 8). Puesto que el mapa de soluciones es amplio, el software VensimPro fue configurado para realizar al menos 2000 ejecuciones del algoritmo de manera que los resultados fueran consistentes y, así, cubrir todas las posibles soluciones numéricas para esos rangos de los parámetros. Es importante mencionar que, para el análisis de sensibilidad, se utilizó la distribución aleatoria uniforme por medio de la cual se garantiza una variación fija de los parámetros.

En la Figura 2- 3 y la Figura 2- 4, el análisis de sensibilidad de las variables nivel de agua disponible y nivel de suelo disponible, muestra el porcentaje de acumulación de soluciones en cada una de las bandas que se presentan. Por ejemplo, para el caso de la Figura 2- 3, la línea curva azul, representa la solución *Business as Usual*, es decir, se muestra la solución del modelo con la configuración inicial sin cambios. Ahora bien, las franjas azul, verde y amarilla, representan el porcentaje de acumulación de soluciones encontradas, para este caso, la gráfica indica que el 95% de los resultados de las 2000 simulaciones se encuentran en la franja azul, el 75% de resultados se encuentran en la franja verde, el 50% de los resultados se hallan en la franja amarilla y, la franja gris indica el escenario posible de todas las simulaciones, esto es que, el 100% de las simulaciones se ubican desde la franja gris hacia las demás franjas que la solapan.

De acuerdo con lo anterior, se logra establecer un rango, en el cual la dinámica del sistema evoluciona y hace viables los proyectos que puedan ser desarrollados según, los parámetros asumidos y aquellos que se obtuvieron con ayuda de la comunidad en los talleres participativos realizados. De esta forma, el modelo entrega a los expertos un primer criterio de selección y se convierte en un filtro que puede ser explotado por los tomadores de decisiones durante el desarrollo de las evaluaciones por pares que se proponen en el Proceso Analítico de Red (ANP) y que se observarán en el siguiente capítulo. Una vez los proyectos son enmarcados dentro de este rango, se pueden concentrar los esfuerzos del

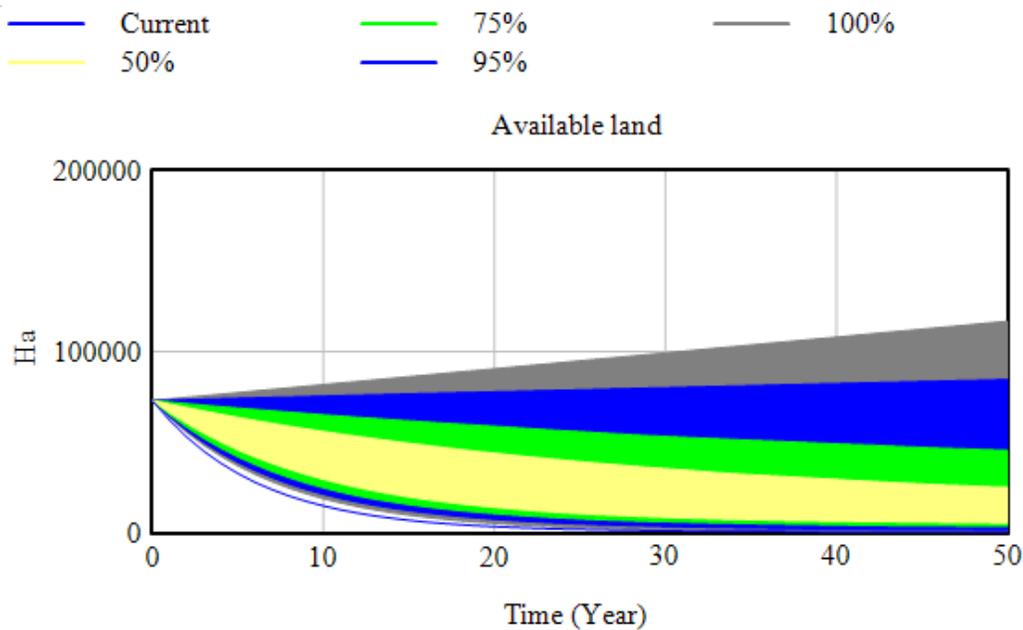
análisis en las demás variables del sistema que dan cuenta de otros factores de importancia dentro del proceso completo de evaluación y priorización.

Figura 2- 3: Análisis de sensibilidad en la variable de nivel Agua Disponible.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

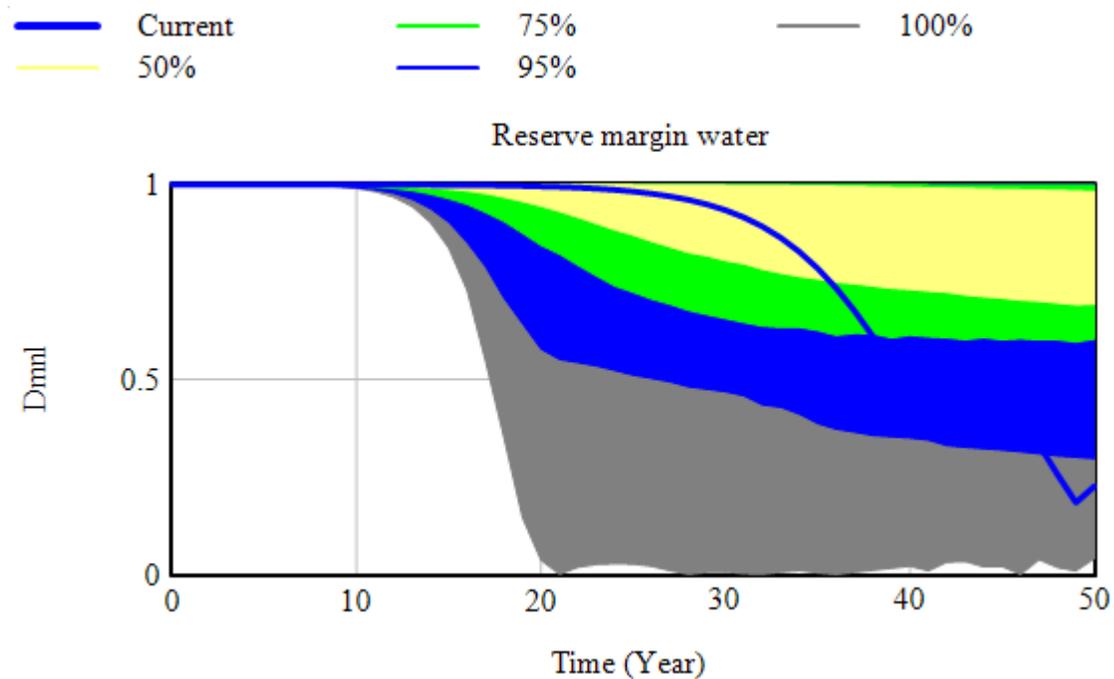
Figura 2- 4: Análisis de sensibilidad en la variable de nivel Suelo Disponible.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Como se mencionó anteriormente, en la Figura 2- 5 y la Figura 2- 6, el análisis de sensibilidad se centra en las variables denominadas márgenes de reserva, tanto de agua como de suelo. Esta vez, la sensibilidad que muestran estas variables dan cuenta del estrecho margen que existe entre el uso y el abuso de los recursos naturales del agua y la tierra, lo que, a su vez, puede significar la abundancia o la escasez de los mismos. Por tanto, dicho análisis, también podría direccionar la toma de decisiones de inversión respecto a uno u otro proyecto, según la comunidad y según la disponibilidad de los recursos en la zona.

Figura 2- 5: Análisis de sensibilidad en la variable Margen de Reserva (agua).



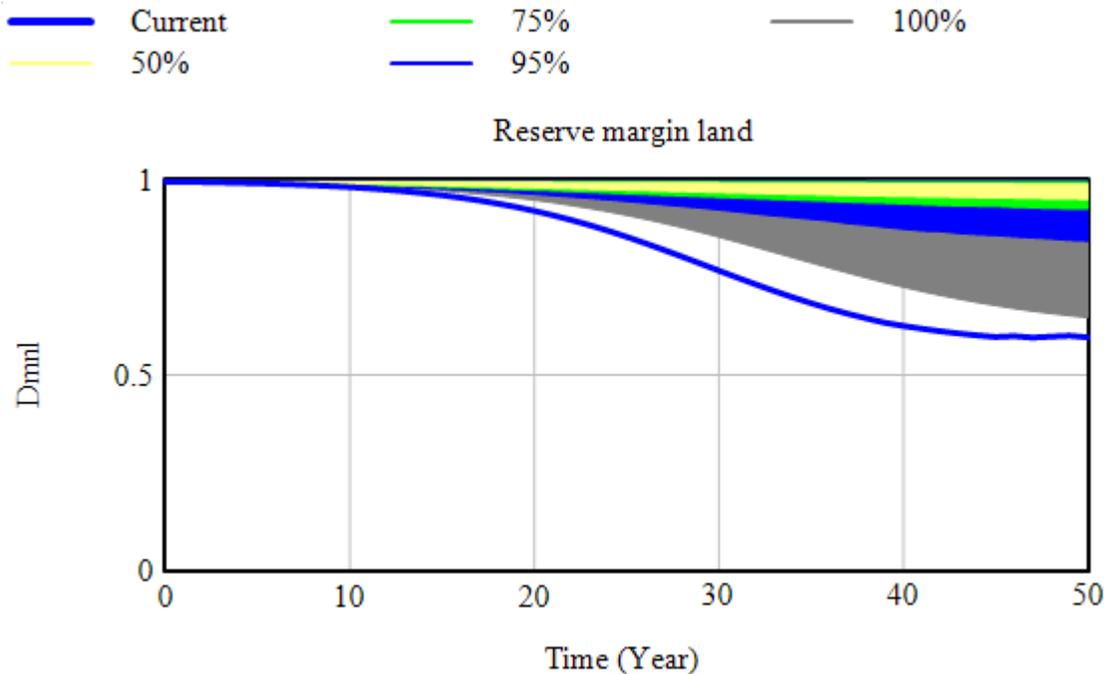
Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Para el caso presentado en la Figura 2- 5, la simulación indica que en algún momento podría presentarse un margen cero, pero no un margen negativo. Esta afirmación, coincide con la hipótesis dinámica planteada en el modelo desde un comienzo, en donde no se considera que pueda haber agua faltante. Sin embargo, de presentarse este caso en el análisis de sensibilidad lo que podría asumirse es que existe una demanda no atendida o quizá una sobre demanda del recurso.

Ahora bien, como se explicó anteriormente, al 95% de las simulaciones se encuentran en la franja azul, tal escenario nos muestra que solo el 5% de las soluciones, conducirían a un desabastecimiento, para los casos restantes, el análisis de sensibilidad muestra un escenario bajo el cual el margen de reserva tiene un límite entre el 30% y el 100%, aproximadamente, según las condiciones planteadas.

Adicionalmente, el 75% de las simulaciones se ubican en la banda amarilla, esto indica que entre el 95% y el 75% de las soluciones encontradas, los márgenes de reserva muestran escenarios bajo los cuales no se presenta un desabastecimiento frente a la política del momento, es decir, con las condiciones que se plantearon el modelo tiene un escenario de comportamiento donde todas las soluciones se moverán dentro de ese margen. Por tanto, si se restringe o mueve el rango de sensibilidad, entonces, se debería cerrar la brecha o escenario de posibilidades.

Figura 2- 6: Análisis de sensibilidad en la variable Margen de Reserva (suelo).

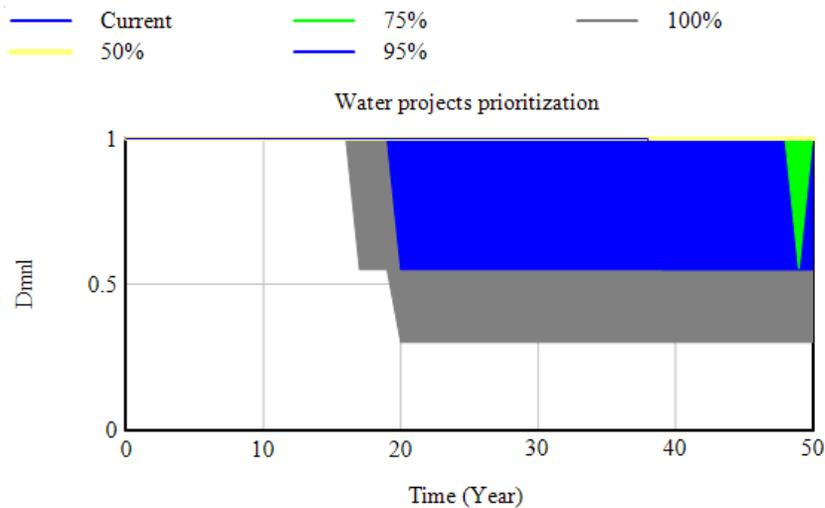


Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Por otro lado, cuando se analizan las variables de priorización de proyectos (ver Figura 2-7 y la Figura 2-8), se logra evidenciar un menor grado de sensibilidad, es decir, comportamientos más monótonos en el sistema, debido a que tales variables se

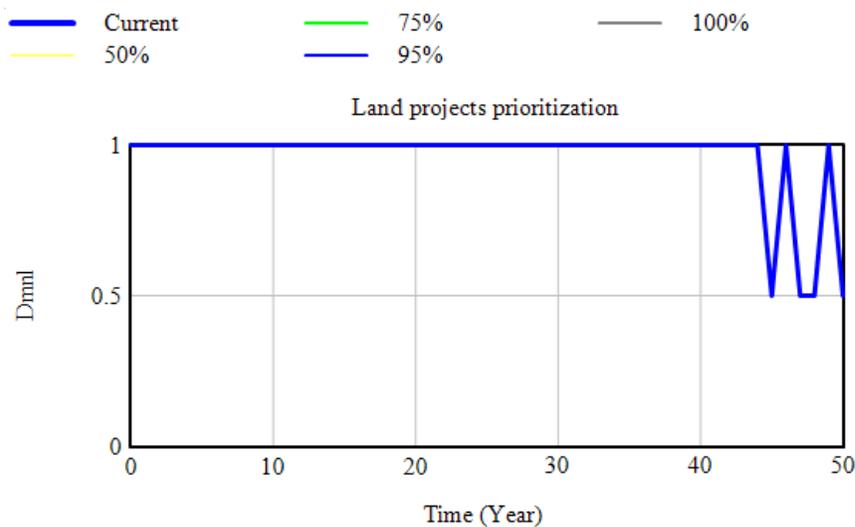
encuentran influenciadas directamente por los factores ciudadanos. Sin embargo, todo dependerá, nuevamente, de la disponibilidad de los recursos naturales de la zona en el momento de evaluar y priorizar los proyectos, y, las problemáticas y necesidades de la comunidad que logren ser cuantificadas en los factores ciudadanos, con los que se calibra el modelo.

Figura 2- 7: Análisis de sensibilidad en la variable Priorización de proyectos (agua).



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Figura 2- 8: Análisis de sensibilidad en la variable Priorización de proyectos (suelo).



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

En conclusión, de acuerdo con los resultados de la validación es posible afirmar que el modelo es válido, ya que, frente a una variación de parámetros en los rangos específicos determinados anteriormente, se demuestra que las todas simulaciones hechas para el análisis de sensibilidad, responden de manera consecuente con la hipótesis dinámica planteada para esta tesis.

2.4 Explotación del modelo

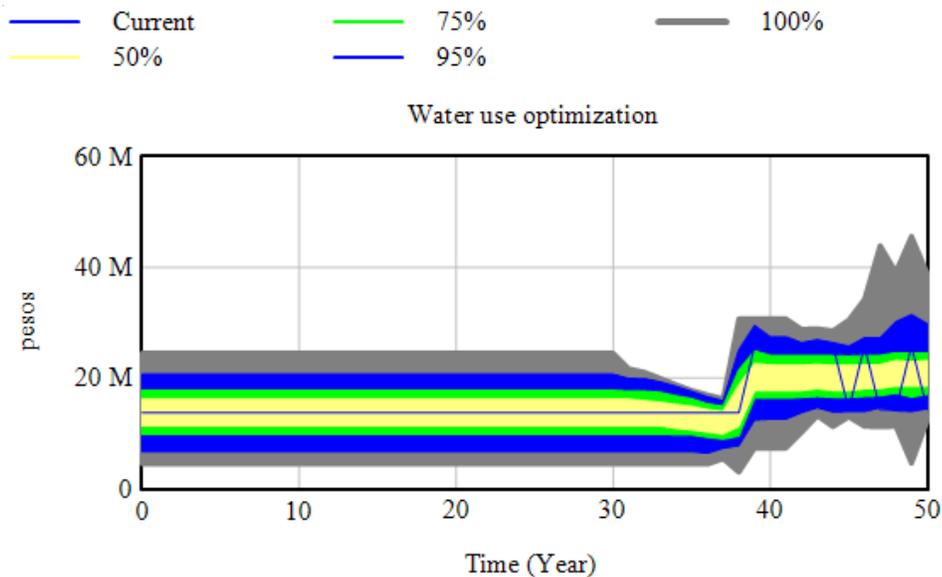
Las técnicas de validación propenden por identificar si el modelo con el que se cuenta se acopla fielmente al sistema o fenómeno real que está analizando. Ahora bien, cuando los patrones de comportamiento cambian al cambiar los supuestos del modelo, se habla de sensibilidad en el modo del comportamiento [74]. Estos cambios en los supuestos, pueden darse durante el proceso de optimización del modelo, cuando se requiere modificar un patrón que se ha diagnosticado como inconveniente o negativo. Frente a las nuevas alternativas, el modelo podría pasar de un comportamiento oscilatorio a un comportamiento monótono. En este punto, también es posible entonces utilizar las herramientas que traen consigo software como VensimPro, Stella Architect o algún otro tipo de software basado en Dinámica de Sistemas, con el fin de obtener un análisis más riguroso del sistema.

En síntesis, es posible utilizar estas herramientas en modelos que se puedan representar mediante sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias y que adicionalmente presentan no suavidades o saltos en sus expresiones funcionales. Las herramientas proporcionadas tanto por VensimPro como por Stella Architect, permiten evidenciar algunos fenómenos asociados al uso de funciones escalonadas y así evaluar alternativas e información adicional con el fin de explotar el modelo de una mejor manera.

Para el modelo que se mostró en la Figura 2- 2, las variables auxiliares Optimización de Proyectos Agua y Optimización de Proyectos Suelo, son funciones escalonadas, que a su vez dependen de los Márgenes de Reserva (Agua y Suelo, respectivamente) que son igualmente no suaves. De ahí que sea de gran interés evaluar que sucede con las decisiones de inversión y la optimización en el uso del agua y del suelo, cuando se alteran los factores ciudadanos. En la Figura 2- 9, se muestra cómo, para cada valor de cada uno de los factores ciudadanos en el intervalo entre 0 y 1, la salida en las variables Priorización de proyectos Agua y Priorización de proyectos Suelo, presenta una variación inferior al

50% durante los primeros 30 años, pero varía sustancialmente durante los últimos 20, que es el tiempo en el cual se ve más afectada por la alteración de las variables relacionadas con los márgenes de reserva (MRA y MRS), los cuales son determinantes a la hora de evaluar y priorizar los posibles proyectos a realizar. En este caso, se realizan las proyecciones sobre dichas variables auxiliares, para comprender cómo son afectadas frente a valores específicos en los parámetros de los factores ciudadanos. La mayor variación al final del tiempo implica cambios en las decisiones de inversión, lo que llevaría a los tomadores de decisiones a moverse hacia otro tipo de inversiones, como sociales o ambientales, que respondan a las condiciones del momento. Con esta herramienta, proporcionada por VensimPro se examina la sensibilidad frente a los modos de comportamiento, es decir, para valores alrededor de cero la dinámica del sistema es monótona, mientras que para valores por encima de 0,5 se presentan oscilaciones. Vale la pena mencionar que estos comportamientos se encuentran dentro de los posibles intervalos a los que se enfrentaría una comunidad rural de posconflicto, la cual se caracteriza por un comportamiento monótono y lento asociado a la velocidad de desarrollo, por lo que para los tomadores de decisiones en la evaluación y priorización de proyectos verdes, es de mayor trascendencia saber que sucede ante un cambio en los parámetros a mediano y largo plazo y no como normalmente se hace al estudiar los sistemas dinámicos en su estado estacionario.

Figura 2- 9: Explotación del modelo.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

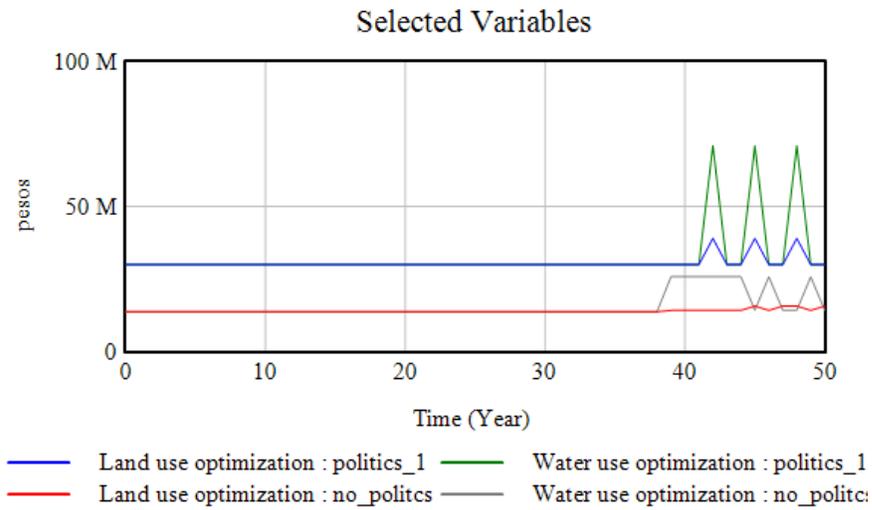
Para terminar la validación del modelo, se presenta un análisis de sensibilidad en las políticas, este consiste en realizar cambios en las hipótesis con el fin de revertir los impactos o conveniencia de una política propuesta. Por ejemplo, en el caso del modelo para la evaluación y priorización de proyectos verdes, se propone variar el esquema bajo el cual se calculan las decisiones de inversión (agua y suelo) analizando tres escenarios posibles.

En el primer modelo de prueba, para calcular el valor de la variable Incentives for Green Projects, se le da un peso mayor a la variable Investment Decision Water manteniendo sin cambios la variable Investment Decision Land, luego manteniendo sin cambios la variable Investment Decision Water, se le da mayor peso a la variable Investment Decision Land. Ahora bien, explorando casos extremos, se plantea un segundo y tercer modelo de prueba, en el que, una de las variables bien sea Investment Decision Water o Investment Decision Land, se haga cero, con el fin de observar los cambios en las variables Water Use Optimization y Land Use Optimization.

Al realizar el análisis de sensibilidad ante las políticas de los esquemas en el primero, segundo y tercer modelo de prueba, se aprecia cómo al variar el peso en la variable Investment Decision Water o Investment Decision Land, para el primer modelo de prueba, presenta mayor variabilidad que el segundo y tercer modelo de prueba (ver Figura 2- 10, Figura 2- 11, Figura 2- 12, Figura 2- 13, Figura 2- 14 y Figura 2- 15).

Si se consigue establecer los pesos de las variables Investment Decision para los cuales se logra la maximización del valor de la variable Incentives for Green Projects, el flujo dinámico de este sistema evoluciona sin tener que conmutar entre decisiones de inversión y no inversión, de esta forma se reduce la variabilidad en las decisiones de los entes encargados de evaluar y priorizar los proyectos para esta comunidad. De manera adicional, si se comparan las variables Investment Decision Water e Investment Decision Land (ponderadas), con las variables Water Project Prioritization y Land Project Prioritization que definen a su vez las variables Water Use Optimization y Land Use Optimization, es más claro que los parámetros asociados a estas, es decir, los factores ciudadanos, son los que afectan significativamente el comportamiento del sistema. Así, se pueden concentrar los esfuerzos de análisis de sensibilidad en ellos para aprovechar en mayor medida el modelo.

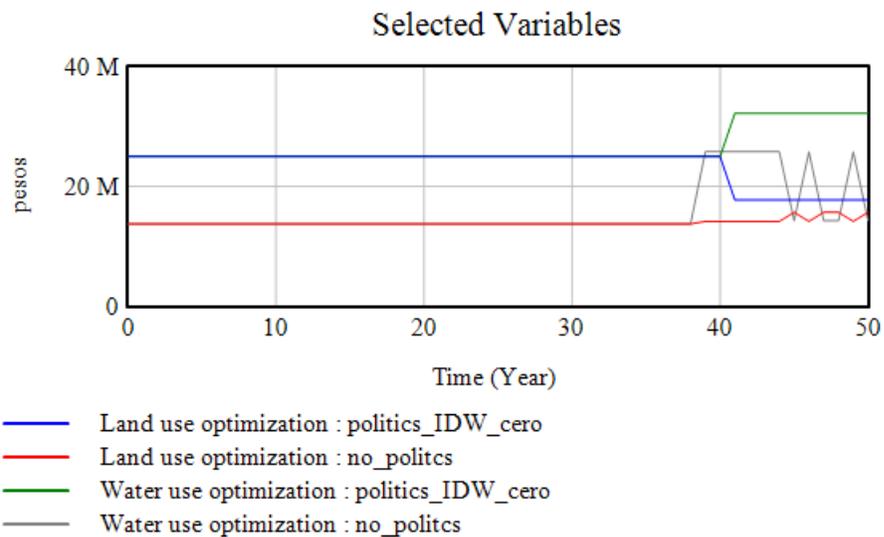
Figura 2- 10: Modelo de prueba 2, variables Optimización del uso del suelo y Optimización del uso del agua.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

La Figura 2- 10, muestra una comparación entre un escenario sin políticas de inversión en proyectos relacionados con el agua, frente a un escenario con inversión. Es claro como en el mediano y largo plazo tales inversiones pueden ser recuperadas en forma de aumento u optimización de los recursos naturales, evitando períodos agotamiento o escases de los mismos y propiciando nuevas inversiones para la comunidad.

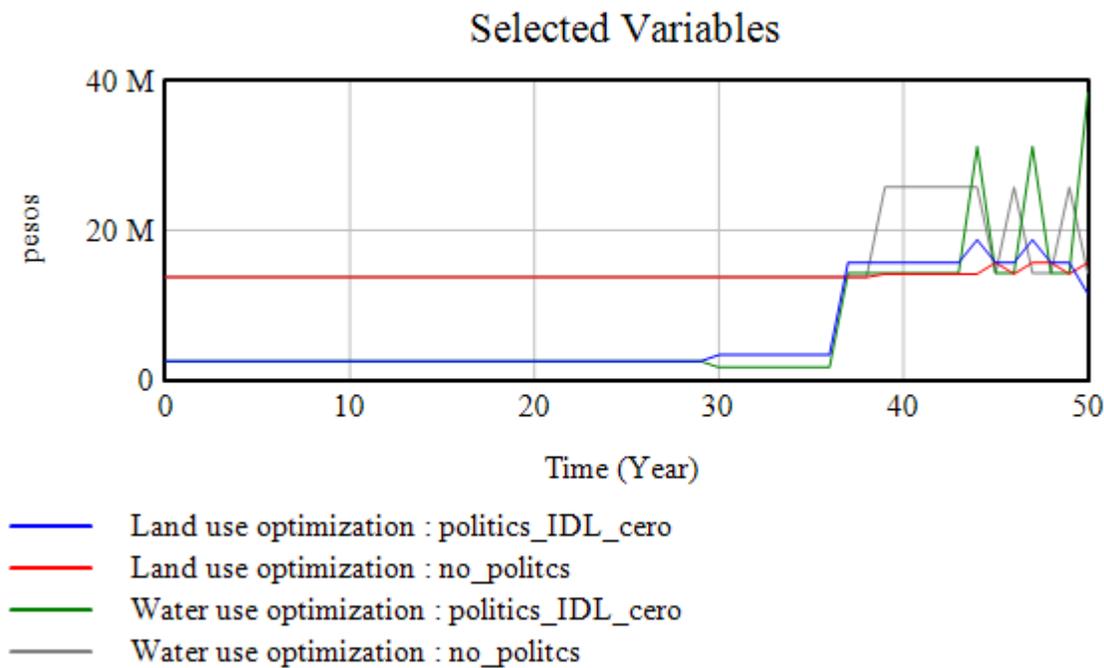
Figura 2- 11: Modelo de prueba 3, decisión de inversión en agua igual a cero



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Ahora bien, la Figura 2- 11 nos propone la comparación de un escenario sin políticas de inversión, frente a otro escenario en el cual, la política acogida ha sido inversión cero en agua, debido a las condiciones que en el momento se presentan. Nuevamente vemos como en el mediano y largo plazo, la dinámica del sistema evoluciona evitando cambiar entre decisiones de inversión y no inversión, y son los factores ciudadanos los que ayudan a reducir la variabilidad en las decisiones facilitando a los tomadores de decisiones la evaluación y priorización de los proyectos bajo este contexto.

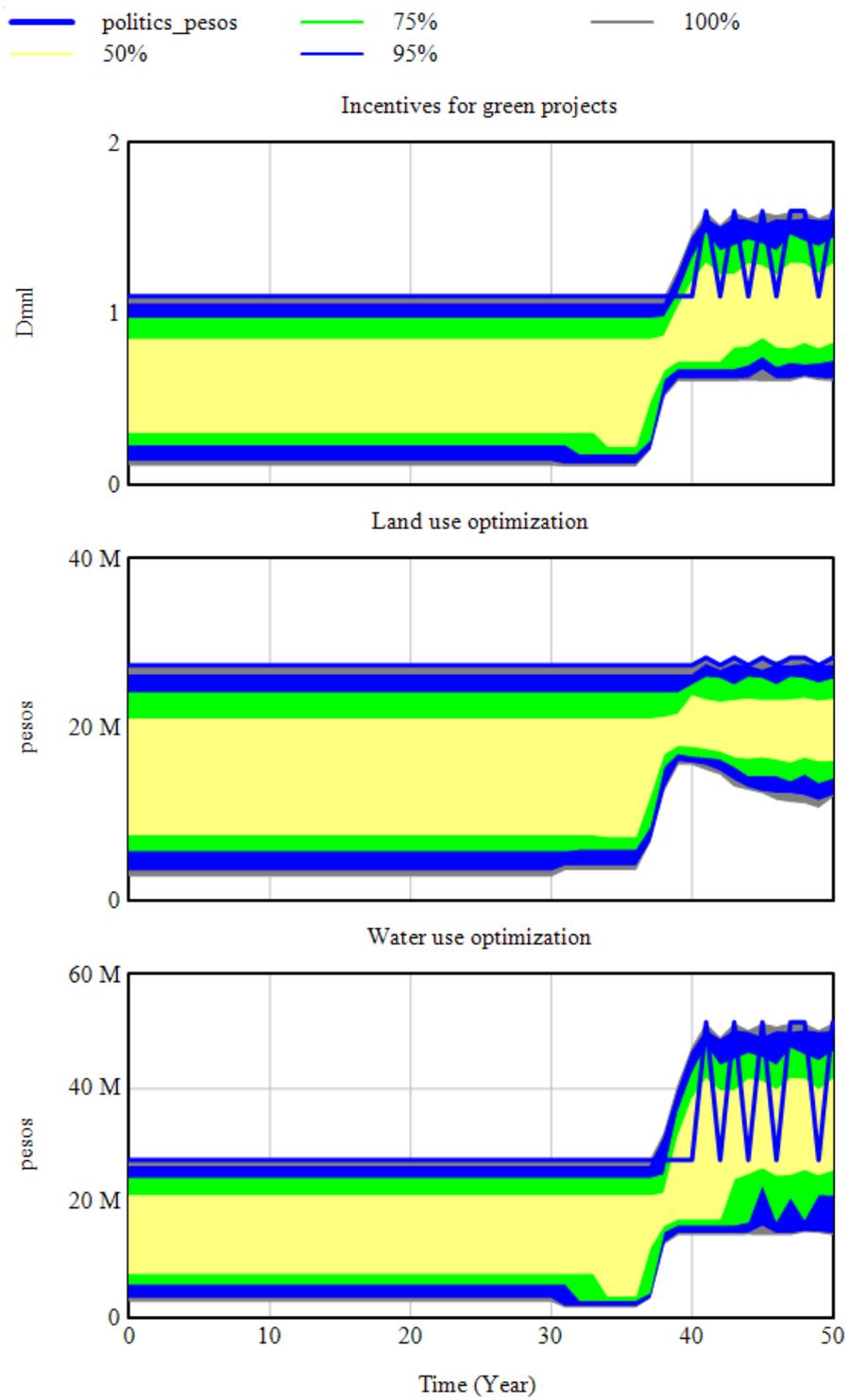
Figura 2- 12: Modelo de prueba 3, decisión de inversión en suelo igual a cero.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Por el contrario, la Figura 2- 12 muestra que, cuando debido a las condiciones no es posible optimizar los recursos naturales del agua o del suelo, la toma de decisiones debe realizarse de forma gradual, privilegiando los recursos disponibles de acuerdo con lo que indiquen los factores ciudadanos, evitando inversiones o proyectos que, aunque puedan representar ahorro de recursos en el corto plazo, no respondan a las necesidades reales de la comunidad y que, además, puedan repercutir o generar, a futuro, otras problemáticas.

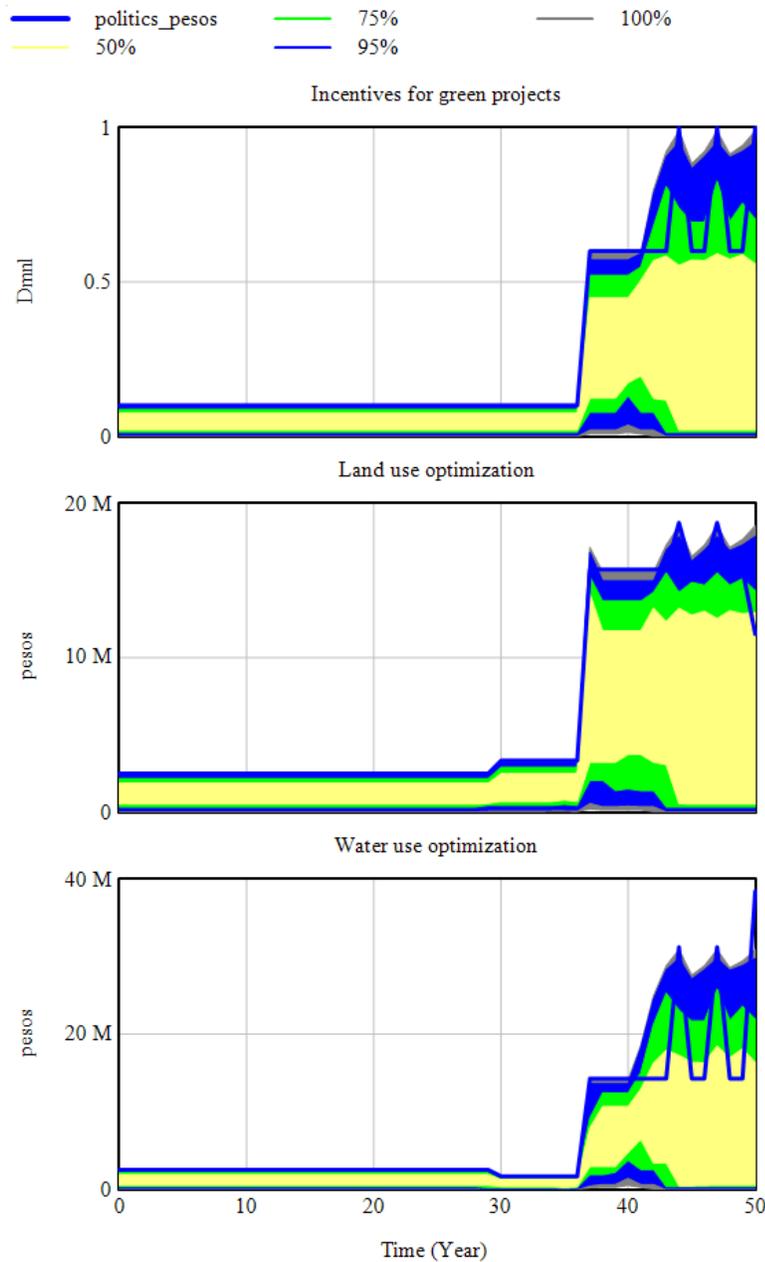
Figura 2- 13: Análisis de sensibilidad modelo de prueba 1.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Por otro lado, cuando observamos diferentes variables al mismo tiempo, como se muestra en la Figura 2- 13, es posible apreciar el efecto que se genera en cuanto a optimización de recursos si se mantiene la inversión durante un tiempo determinado, llevando los recursos a niveles donde la escases es menos probable, haciendo el espacio adecuado para nuevas inversiones de proyectos favorables a la comunidad.

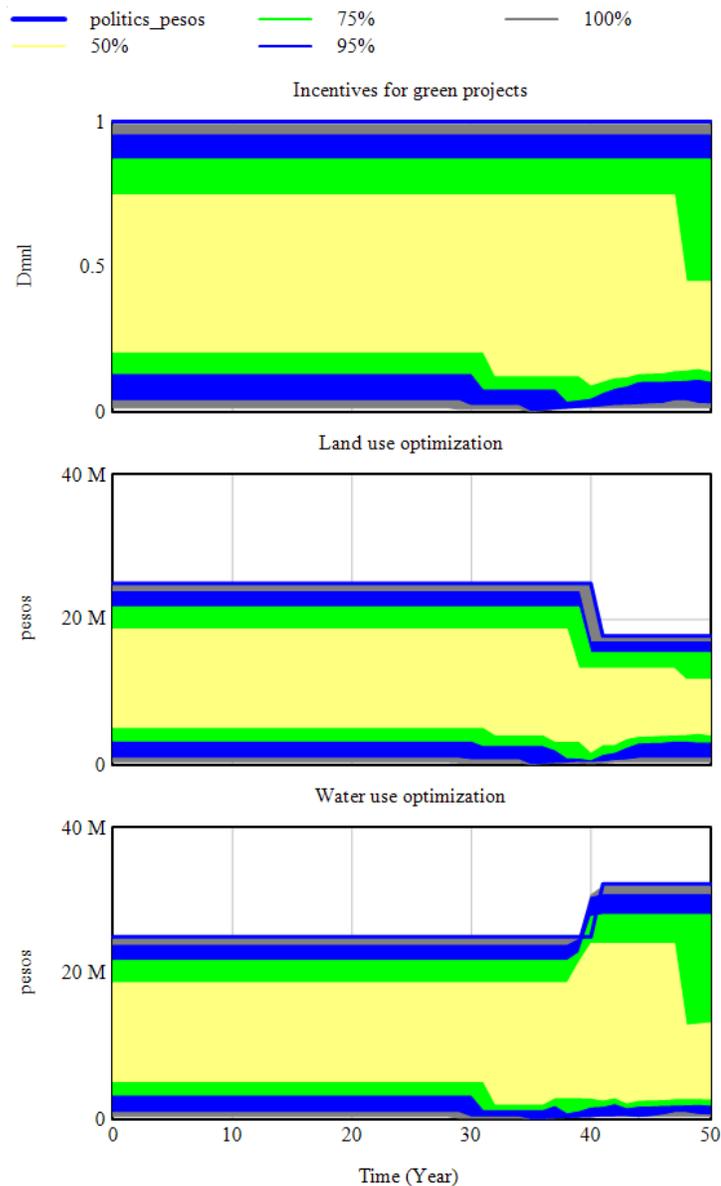
Figura 2- 14: Análisis de sensibilidad modelo de prueba 2.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Así mismo, como lo muestra la Figura 2- 14, cuando se utiliza el segundo modelo de prueba para visualizar el comportamiento de la variable Incentives for Green Projects, el escenario extremo que se plantea, permite ubicar los incentivos en valores entre el 60% y el 100% de las de las inversiones, lo cual lleva a pensar que las decisiones de inversión durante este período podrían ser alternadas entre proyectos relacionados con el agua y proyectos relacionados con el suelo, con el fin de garantizar la disponibilidad de los mismos para futuras iniciativas.

Figura 2- 15: Análisis de sensibilidad modelo de prueba 3.



Fuente: Elaboración propia mediante Vensim Pro

Finalmente, como se observa en la Figura 2- 15, el tercer modelo prueba, confirma la hipótesis según la cual cuando uno u otro recurso natural (agua o suelo) comienza a escasear, los incentivos a los proyectos también pueden verse afectados en ese mismo sentido, y por tanto las decisiones de inversión se inclinarán hacia la utilización del recurso que, en ese determinado momento, pueda traer mayor beneficio a la comunidad, pero, siempre priorizados por lo que los factores ciudadanos indiquen.

2.5 Conclusiones del capítulo

El propósito de este capítulo, es reconocer la pertinencia y complementariedad entre la participación ciudadana, desarrollada en el capítulo anterior, la Dinámica de Sistemas y los sistemas dinámicos para generar información relevante a los expertos por medio de la cual se facilite la evaluación y priorización de proyectos verdes en comunidades del posconflicto en Colombia.

En este sentido, el siguiente paso propuesto en la metodología, consiste en la construcción del modelo en Dinámica de Sistemas, calibrado con los factores ciudadanos y la información recopilada con la comunidad mediante los talleres participativos expuestos en el capítulo 1, y, el análisis cualitativo de los sistemas dinámicos. Si bien es cierto que, no es la primera vez que se utiliza la dinámica de sistemas para la toma de decisiones, si es la primera vez, que en aplicaciones de ingeniería se habla de factores ciudadanos como propuesta de calibración de un modelo para que, a través de formalidades matemáticas, basadas en dinámica de sistemas, pueda generarse información que conduzca a una evaluación y priorización de proyectos adecuada.

Sin embargo, no es suficiente con la riqueza dinámica que se presenta en esta integración de los sistemas dinámicos y la participación ciudadana. Se debe ir más allá, entendiendo que existen más actores en el mundo real, que influyen en la evaluación y priorización de proyectos y que escapan a las dinámicas que pueden encontrarse con el modelo y con la comunidad. Por tanto, en el siguiente capítulo, se expone la parte final de la metodología, en la cual se integra, a lo visto hasta ahora, un método multicriterio de toma de decisiones, con el fin de involucrar el criterio de expertos, minimizar cualquier tipo de sesgo y cubrir elementos que no hayan sido tenidos en cuenta hasta el momento en el proceso.

3. Capítulo 3. Integración participativa entre la Dinámica de Sistemas y el Proceso Analítico de Red (ANP) como metodología de evaluación y priorización de proyectos verdes

La carencia de un método científico claro que facilite la toma de decisiones en los procesos de evaluación y priorización, valida el rol que juega el Proceso Analítico de Red (ANP), como una herramienta de evaluación y priorización dentro de la metodología propuesta en la selección de proyectos verdes. Estos métodos que ya han sido desarrollados y comprobados, son de gran aplicación en ambientes complejos, de múltiples variables, criterios y parámetros [55], como lo es el caso de las comunidades del posconflicto en Colombia, además de los factores sociales, ambientales y económicos que, sin duda afectan en mayor o menor proporción los resultados del proceso [81].

Por otro lado, si se indagara por los métodos de selección que emplean recopilación de información, modelado, simulación y creación escenarios para evaluación por parte de un grupo de expertos, los reportes aparecerán, ciertamente, en menor medida. Por tal motivo, la metodología propuesta en esta tesis, da la razón a los métodos multicriterio de toma de decisiones (MCDM), en donde se hace posible la reducción del sesgo en las decisiones, se evalúan múltiples criterios, y se consideran múltiples alternativas. Además, las diversas opiniones de los expertos, recogidas en las matrices de decisión, sumado al factor de consistencia, proporciona un indicador de los posibles sesgos existentes en el proceso y, de esta forma, se valida u objetiva la decisión final.

Ahora, quienes están interesados en seguir únicamente un modelo en dinámica de sistemas, se limitan al criterio de expertos, así como a los resultados que entregue un determinado software. Por otro lado, quienes construyen su modelo de decisión basados

exclusivamente en el trabajo con la comunidad, se encuentran expuestos a riesgos relacionados con la credibilidad, la deslegitimación e incluso el desinterés.

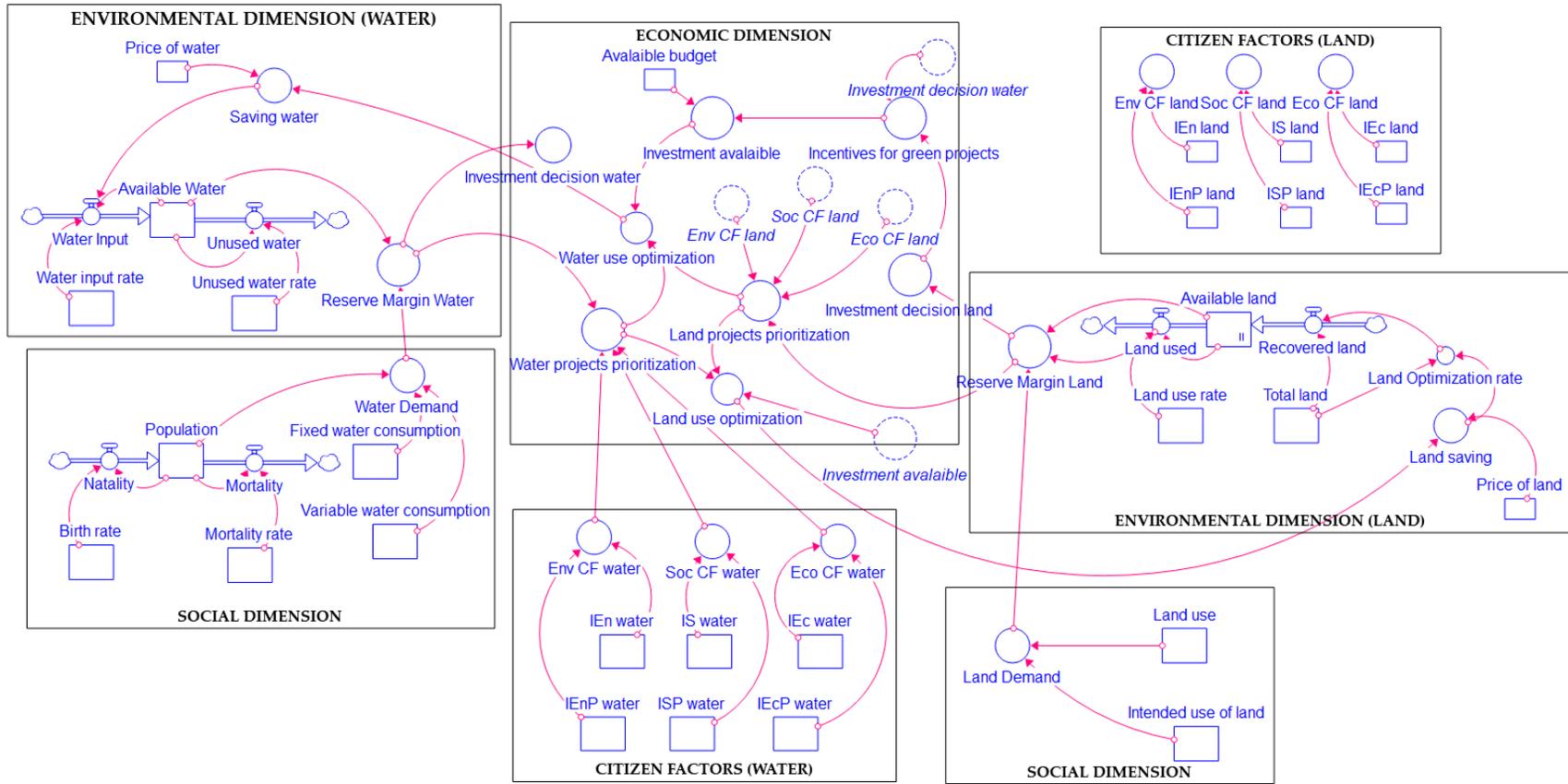
De acuerdo con lo anterior, surge la necesidad de integrar estas metodologías, en este capítulo, se presenta el proceso mediante el cual se llevó un modelo en Dinámica de Sistemas a una red compleja como la propuesta por el método ANP. Esta integración corresponde con la segunda fase de la metodología propuesta para la evaluación y priorización de proyectos verdes mediante el método de decisión multicriterio ANP (Proceso Analítico de Red) [24], [82]–[86].

El método ANP permite identificar y considerar dependencias mutuas entre los diferentes criterios de evaluación[87]–[89]. Así, es posible estructurar una red de clústeres y nodos y, además, definir las interrelaciones que ocurren entre ellos [90], [91]. La estructura general de una red ANP se compone de nodos fuentes y nodos destino (sumideros), estos quedan determinados cuando se establecen los caminos de influencia [92], [93]. Las interconexiones entre nodos y elementos pueden darse o bien por medio de realimentación hacia componentes de otros elementos, o bien, por bucles hacia el mismo componente [90], [94]–[96]. Debido a la gran cantidad de interdependencias e interacciones en el modelo de Dinámica de Sistemas propuesto, así como, la imposibilidad de estructurarlo jerárquicamente, se decidió emplear el método ANP, como método para la evaluación y priorización de los proyectos (alternativas). La elaboración de la estructura de la red ANP, partiendo del modelo en Dinámica de Sistemas, se realizó en diferentes pasos.

El primer paso consistió en la identificación, en el modelo en DS, de los clústeres que conformarían la estructura ANP. En este punto se identificaron 6 clústeres que correspondían con las dimensiones social, ambiental y económica además de los factores ciudadanos y la dimensión de gobierno, la estructura ANP se completó con el clúster correspondiente a las alternativas o proyectos a evaluar y priorizar, como lo muestra la Figura 3- 1.

Figura 3- 1: Identificación de los clústeres de la red ANP, en el modelo en Dinámica de Sistemas.

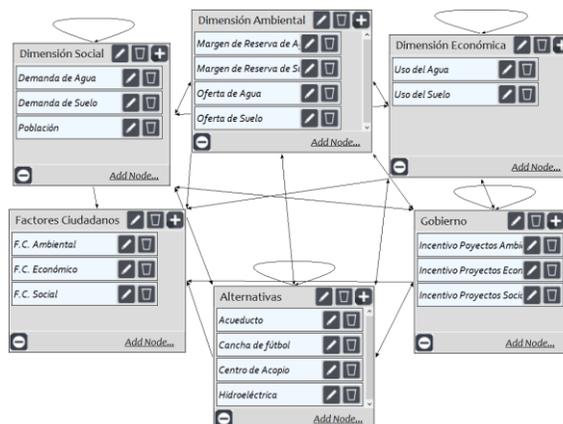
IDENTIFICATION OF THE CLUSTERS OF THE ANP NETWORK IN THE SYSTEM DYNAMIC MODEL



Fuente: Elaboración propia

El segundo paso consistió en la identificación de los nodos o elementos que conforman cada clúster, de esta manera, se establecieron como elementos aquellas variables y parámetros del modelo que se encontraban dentro de cada clúster identificado en el paso anterior. Igualmente, las interconexiones y relaciones de dependencia, se establecieron según las relaciones existentes en el modelo en DS. En la Figura 3- 2 se muestra la estructura completa de la red ANP.

Figura 3- 2: Red ANP a partir del modelo en Dinámica de Sistemas.



Fuente: Elaboración propia

3.1 Evaluación según el método ANP

Una vez se realizaron las simulaciones del modelo en Dinámica de Sistemas (DS), se dio inicio a la etapa 4 de la metodología propuesta, esta consistió en la aplicación del Proceso Analítico de Redes (Analytic Network Process - ANP). Teniendo ya estructurada la red ANP, la cual fue descrita en la sección anterior de este documento, las seis dimensiones propuestas (social, ambiental, económica, gobierno, factores ciudadanos y proyectos) así como sus elementos (variables) correspondientes, fueron evaluados según las relaciones de dependencia y realimentación definidas.

Como se mencionó anteriormente, el método ANP se basa en la comparación por pares [95], [97]–[102] para determinar las prioridades entre los indicadores o variables involucradas en la evaluación. De acuerdo con esto, se pidió a los expertos que, según la información presentada del modelo en Dinámica de Sistemas, evaluaran la relevancia de los indicadores considerados de acuerdo con la escala fundamental de Saaty [94], [103]–[105] (ver Tabla 3- 1).

Tabla 3- 1: Escala fundamental de Saaty.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual Importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

El primer paso de la evaluación se refiere a las comparaciones por pares entre los clústeres [88], [91], es decir, entre las seis dimensiones definidas. Una vez recopiladas las evaluaciones, fue posible desarrollar la matriz de valoración [35], [102], [106], [107], en la cual los valores numéricos representan la influencia identificada para los elementos de la red. El segundo paso luego de haber establecido las prioridades de los clústeres fue realizar la comparación por pares para los nodos o elementos de cada clúster [85], [96], [108], [109]. En cuanto a la evaluación de cada clúster, los juicios fueron realizados teniendo en cuenta las influencias e interdependencias [95], [110] reconocidas en la red. Como ejemplo, la Figura 3- 3, muestra la comparación por pares entre "Dimensión Social" y "Dimensión Económica". En detalle, el valor asignado "4" se refiere a la escala fundamental de Saaty. Esto significa que los expertos consideraron a la "Dimensión Social" más importante que la "Dimensión Económica".

Figura 3- 3: Dimensión Ambiental Vs. Dimensión Económica.

Judgments		Ratings																		
2. Cluster comparisons with respect to Dimensión Ambiental																				
Graphical Verbal Matrix: Questionnaire: Direct																				
Dimensión Ambiental is moderately to strongly more important than Dimensión Económica																				
1.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
2.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
3.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
4.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
5.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
6.	Dimensión Am-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
7.	Dimensión Am-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
8.	Dimensión Am-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
9.	Dimensión Am-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N
10.	Dimensión Ec-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	N

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3- 4, correspondiente al caso de estudio de la vereda California que se tratará en el siguiente capítulo, ilustra la comparación por pares entre los nodos (elementos) que pertenecen a la Dimensión (clúster) Ambiental. De igual manera, se realizó la comparación por pares de los clústeres, utilizando también, para la asignación de valores, la escala fundamental de Saaty con el fin de determinar la importancia de las diferentes variables que lo componen. En detalle, los valores asignados significan que, primero, el “margen de reserva del agua” es más importante que “el margen de reserva del suelo” (valor 3); segundo, el “oferta de agua” es igual o moderadamente más importante que la “oferta de suelo” (valor 2); y tercero, que el “margen de reserva del agua” es moderadamente más importante que la “oferta de suelo” (valor 3). Así mismo, se le ha dado una gran importancia al “margen de reserva del agua” en la zona que rodea la vereda California. Esto se debe en parte a que el agua es de vital importancia en los cultivos y gracias a los acueductos locales todos los habitantes pueden beneficiarse de ella, al contrario, con el suelo o las tierras, las cuales son propiedad privada de habitantes de la comunidad o de empresas que establecieron sus cultivos en la zona, por cuanto el beneficio es individual, según sea aprovechado. En este contexto, es posible subrayar que la comparación por pares se ha realizado considerando las características de la zona y así mismo, las problemáticas y las necesidades de la comunidad de California.

Figura 3- 4: Comparación entre nodos con la escala de Saaty.

2. Node comparisons with respect to Margen de Reserva d																			
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct																			
Comparisons wrt "Margen de Reserva de Agua" node in "Dimensión Ambiental" cluster																			
Margen de Reserva de Agua is moderately more important than Oferta de Suelo																			
1. Margen de Re-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
2. Margen de Re-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
3. Margen de Re-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
4. Margen de Re-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
5. Margen de Re-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
6. Oferta de Ag-	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas todas las matrices de comparación por pares para todas las dimensiones y los nodos, se desarrolla la supermatriz no ponderada [90], [95], [99], en la cual se detallan la totalidad de las prioridades obtenidas mediante las comparaciones por pares. Así mismo, la supermatriz representa las relaciones entre los nodos que componen la red. Ahora bien, para obtener la supermatriz ponderada, fue necesario multiplicar la matriz no ponderada por el vector final de prioridades [102], [103], [111]. Es importante resaltar que, tanto para la construcción de la red ANP, como para las evaluaciones por pares y el desarrollo y operación de las matrices, fue utilizado el software Super Decisions desarrollado por la fundación Creative Decisions [112].

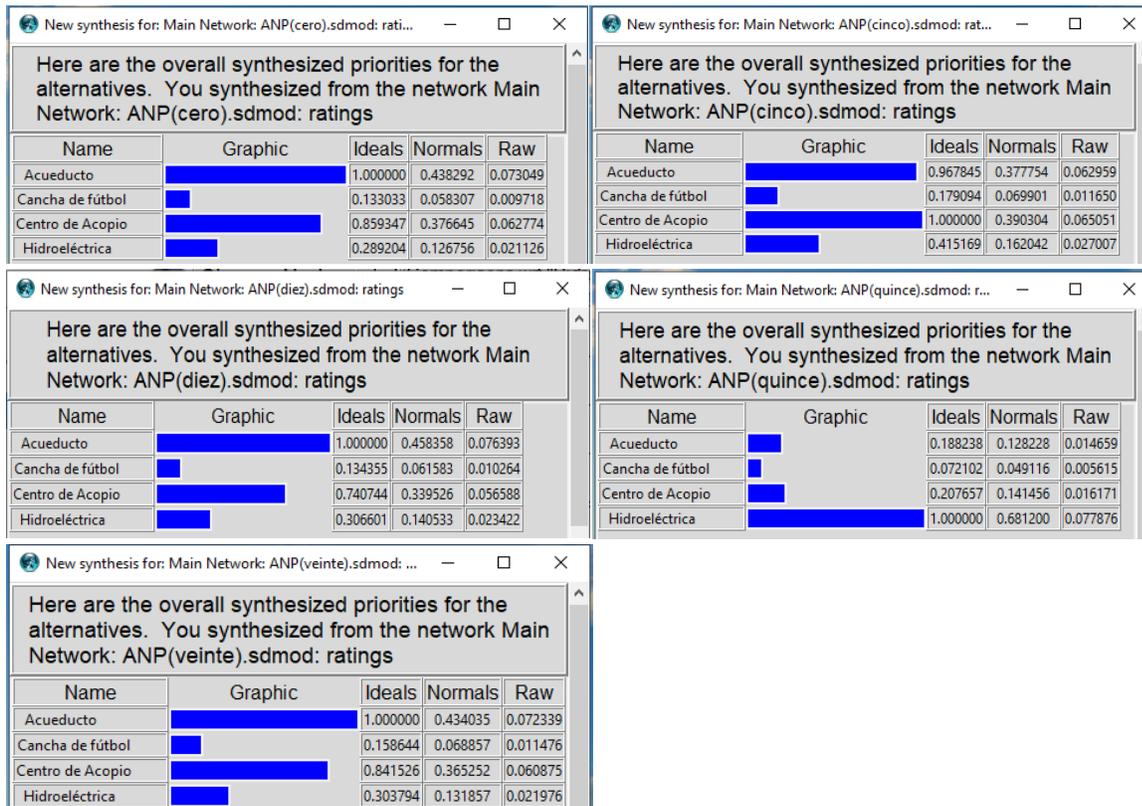
3.2 Resultados y Priorización

Cómo se expresó en los apartados anteriores, el método ANP fue realizado en cinco instantes de tiempo diferentes y teniendo en cuenta la información obtenida por medio del modelo en Dinámica de Sistemas para cada momento de tiempo en particular. De esta forma, fue posible observar las diversas interpretaciones que el panel de expertos puede hacer cuando se le presentan variados conjuntos de datos. En este punto se desataca la utilidad de un proceso de multicriterio como lo es el ANP, por medio del cual es posible agrupar diferentes decisiones acerca de un mismo tema y establecer una solución válida [113].

La Figura 3- 5, presenta los resultados individuales del Proceso Analítico de Redes en cada uno de los cinco momentos en los que se determinó llevar a cabo la evaluación y priorización. Para esta investigación se consideró utilizar un horizonte de tiempo de veinte años, siendo el año cero (sin intervención) el primer año a evaluar, seguido del año cinco,

diez, quince y el veinte como el último año a tener en cuenta. El caso ilustrado corresponde a la vereda California en la región del Magdalena centro, comunidad del posconflicto en Colombia.

Figura 3- 5: Evaluaciones ANP (año cero a veinte).



Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, el proceso de priorización se basa en la propuesta descrita por Chichilinsky [114] para lograr la sustentabilidad, la idea básica es exhibir una compensación entre las preferencias para el futuro y los recursos naturales subyacentes (oferta y demanda futura) y las preferencias por el presente y los consumos generados por los criterios de utilidad (oferta y demanda actual). Para esta investigación, se decidió dar una mayor ponderación a las primeras evaluaciones ANP realizadas, 40% la primera (año cero), 30% la segunda (año cinco), 15% la tercera (año diez), 10% la cuarta (año quince) y 5% la última evaluación realizada (año veinte). Lo anterior, teniendo en cuenta que los factores ciudadanos expresan las necesidades más apremiantes y que al ser comunidades del posconflicto en

Colombia, sus habitantes esperan una respuesta en el corto y mediano plazo que mejore su calidad de vida. La ecuación (14), presenta la forma en que se calculó el resultado final, RF , para cada proyecto evaluado, teniendo en cuenta su prioridad y ponderación correspondiente.

$$RF = \sum P_i * W_j \quad (14)$$

Dónde P_i , corresponde a la prioridad encontrada en cada instante de tiempo considerado para cada proyecto, según el método ANP, y, W_j , corresponde a la ponderación dada a cada instante de tiempo, según lo expresado en el párrafo anterior. De esta forma, la suma del puntaje final de todos los proyectos evaluados es igual a la unidad y es posible establecer el ranking final de evaluación y priorización, cumpliendo así con uno de los objetivos generales propuestos en esta tesis.

3.3 Conclusiones del capítulo

En este capítulo, se explora la parte final de la metodología propuesta mediante la aplicación de un enfoque integrado basado en la combinación de SDM y ANP para evaluar y priorizar proyectos verdes en comunidades del posconflicto en Colombia. La elección de combinar estas dos técnicas surge de sus aspectos comunes, que se pueden resumir de la siguiente manera:

Ambos examinan la naturaleza de los problemas de decisión bajo análisis. Tanto SDM como ANP se aplican para describir (SDM) y analizar (ANP) problemas de decisión complejos y dinámicos en muchos campos diferentes, en este caso la evaluación y priorización de proyectos.

Así mismo, evalúan la tipología de las relaciones mutuas. En la toma de decisiones del mundo real, se deben investigar algunos problemas considerando las relaciones no lineales y de retroalimentación entre las variables involucradas. Tanto SDM como ANP se utilizan en base a este principio y por esta razón se han integrado para crear un marco único para analizar procesos de decisión complejos. Igualmente, evalúan los datos de

manera similar y tanto SDM como ANP consideran tanto datos cualitativos como cuantitativos.

Una de las principales fortalezas de la propuesta de integración entre SDM y ANP puede resumirse en el uso del diagrama de bucle causal como una herramienta de apoyo apropiada para encontrar las relaciones entre los criterios a incluir en la red ANP. El enfoque integrado basado en la combinación de SDM y ANP puede considerarse adecuado para responder a la necesidad de una herramienta de evaluación que sea capaz de considerar aspectos como la disponibilidad de los recursos naturales, los factores ciudadanos y algunos aspectos de gobernanza en función de su complejidad, multidimensionalidad y comportamiento dinámico en el tiempo. De hecho, fue posible analizar un modelo de balance como un sistema complejo y adaptativo, en el que las intervenciones de la comunidad, el gobierno, e incluso la disponibilidad y el uso de los recursos del agua y el suelo, pueden provocar cambios en la toma de decisiones, de manera que el o los proyectos verdes seleccionados causen el mayor bienestar y aumento en la calidad de vida de la comunidad.

4. Capítulo 4. Casos de estudio

A continuación, se presenta la ejecución y los resultados producto de la aplicación de la metodología propuesta desarrollada durante los capítulos 1, 2 y 3, de esta tesis. Mediante dos casos de estudio llevados a cabo en comunidades del posconflicto en Colombia, fue posible analizar las marcadas diferencias en cuanto a recursos naturales de agua y suelo disponibles, así mismo se pudo observar como sus diferentes problemáticas, necesidades e incluso expectativas, determinadas por medio los talleres participativos con la comunidad e insertadas en el modelo mediante los factores ciudadanos, pueden llegar a direccionar, de forma armónica, la toma de decisiones para la evaluación y priorización de proyectos verdes y, en consecuencia mejorar de la calidad de vida de estas comunidades afectadas, en el pasado, por el conflicto armado en Colombia.

4.1 Vereda El Pesebre (Tame, Arauca, Colombia)

La vereda El Pesebre, está ubicada al sur del municipio de Tame en el departamento de Arauca en Colombia (ver Figura 4- 1). Está rodeada por múltiples recursos naturales y pisos bioclimáticos, esto gracias a que parte de su territorio pertenece al Parque Nacional Natural el Cocuy, sitio donde tienen origen los principales ríos, caños y quebradas que atraviesan la población.

Figura 4- 1: Ubicación geográfica de la vereda El Pesebre.

Fuente: Adaptado de Milenioscuro y SOGEOCOL ([115], [116])

En el plano social y económico, la vereda El Pesebre, no fue ajena al conflicto vivido en la región y en todo el país, situación que llevó a esta comunidad, así como a muchas otras, a un estancamiento del desarrollo social y económico. Este retraso se observó en mayor medida en las zonas rurales y en las comunidades que coincidían con los corredores estratégicos para los grupos armados, lugares donde la guerra se sufrió con mayor intensidad y causó en muchas ocasiones el desplazamiento de sus habitantes.

Fue así, como en la comunidad de El Pesebre, el conflicto llevó a que las actividades productivas que constituían no sólo el sustento de las familias, sino que también eran parte importante del comercio de la región, se redujeran al sostenimiento de las necesidades mínimas de sus habitantes. Un factor importante que ralentizó aún más el desarrollo fue el desplazamiento forzado al que se vieron obligados entre los años 2007 y 2010, tiempo en el cual el territorio quedó completamente deshabitado y a merced de los grupos armados que ocupaban el área.

4.1.1 Taller participativo (vereda El Pesebre, Tame, Arauca)

De acuerdo con la metodología propuesta, se llevó a cabo en la vereda el Pesebre, el taller participativo, cuyo fin, era el reconocimiento general de las características socioculturales, económicas, productivas y ambientales del territorio. A partir del desarrollo de actividades de construcción colectiva de herramientas como la matriz DOFA y el Diagrama de Venn, fue posible caracterizar a la comunidad desde el autorreconocimiento, permitiendo que los

facilitadores también pudieran identificar dichos rasgos (ver Figura 4- 2). Así mismo, actividades como el diálogo semiestructurado con algunos de los participantes, permitió abordar algunos temas con mayor profundidad, tales como la historia de la vereda, el poblamiento, el conflicto armado, el desplazamiento forzado, e igualmente, situaciones actuales como el regreso al territorio, el posconflicto y las oportunidades de desarrollo productivo.

Figura 4- 2: Comunidad de El Pesebre en el Taller Participativo



Es de aclarar que, el acceso al registro audiovisual completo del taller participativo realizado con la comunidad de la vereda El Pesebre se encuentra disponible en el Anexo B al final de este documento.

Posteriormente, en las demás fases en las que se dividió el taller (fases evaluativa y propositiva), y teniendo en cuenta el desarrollo de la fase diagnóstica de la vereda El Pesebre, se realizaron actividades más específicas que buscaban un diagnóstico particularizado, en torno a los recursos del agua y del suelo, específicamente. En este punto, cabe resaltar el desarrollo actividades tales como la construcción del mapa de recursos naturales y usos de la tierra, donde se evidenciaron algunas de las singularidades con las que cuenta el territorio y la comunidad que lo habita; el recorrido por el territorio con algunos de sus habitantes y los facilitadores del taller, que permitieron hacer un reconocimiento visual para luego ser contrastado con las actividades previas. De igual forma, se realizaron actividades como el calendario estacional, donde se determinaron los meses de lluvia y sequía y sus afectaciones en la producción, los gastos, los ingresos, el

suelo, las fuentes hídricas. Así mismo, se realizaron encuestas acerca de los recursos básicos en el hogar para finalmente terminar la sesión con el diagrama de corte en donde se especificaron los diferentes tipos de suelos, características, usos y problemas, esta actividad se realizó con base en las actividades anteriores que facilitaron su desarrollo. A continuación, la Tabla 4- 1, resume los principales hallazgos identificados mediante el taller participativo con la comunidad.

Tabla 4- 1: Hallazgos del taller participativo (El Pesebre)

Hallazgo Identificado	Dimensión (Clúster de la red ANP)	Herramienta Utilizada (DRP)
Dificultades en la salida de los productos cultivados en la región por falta de vías	Socio Económica	Diagrama de Venn
Principales actividades económicas: Ganadería, Apicultura y cultivos de café	Socio Económica	Diagrama de Venn
Poca variación climática y pocos cultivos debido a las tierras poco fértiles	Ambiental	Diagrama de Venn
No se identifican proyectos para el desarrollo de la comunidad	Económica	Matriz DOFA
Fuerte cohesión social de sus habitantes	Social	Matriz DOFA
Abandono por parte del estado y el gobierno local	Gobierno	Matriz DOFA
La comunidad, corresponde en su mayoría a habitantes que regresaron al territorio luego del desplazamiento al que se vieron forzados	Social y de Gobierno	Diagrama de Venn
Divergencias en la definición de las principales problemáticas, necesidades y expectativas	Social	Diálogo Semi Estructurado
Apoyo Institucional deficiente e insuficiente para llevar a cabo proyectos de gran impacto en la comunidad	Gobierno	Diálogo Semi Estructurado

Tabla 4- 1: (continuación)

Hallazgo Identificado	Dimensión (Clúster de la red ANP)	Herramienta Utilizada (DRP)
Carencia en estudio de suelos que permitan ejecutar proyectos agrícolas productivos	Socio Económica y de Gobierno	Diálogo Semi Estructurado
La comunidad reconoce el potencial de la apicultura como motor social y económico, siendo necesario para ello su tecnificación	Socio Económica	Diálogo Semi Estructurado
El agua es ampliamente accesible para los habitantes, pero se toma sin potabilizar directamente de los nacedores y quebradas existentes	Socio Ambiental	Diálogo Semi Estructurado
No se identifican en la vereda procesos de industrialización o masificación de sus principales actividades económicas	Económica	Diálogo Semi Estructurado
No se identifican gestión de proyectos o recursos para proyectos productivos en la vereda, lo cual dificulta el mejoramiento de las condiciones físicas, económicas, naturales y culturales de la comunidad	Gobierno	Diagrama de Venn

Por otro lado, a nivel social, el taller participativo permitió identificar en la vereda El pesebre, necesidades consideradas por la comunidad como apremiantes y que están relacionadas con la carencia de infraestructura social, servicios públicos, salud y tecnología. Esta situación, como lo expresaron los habitantes de la vereda, es consecuencia directa del conflicto armado vivido en la región. Así mismo, fue posible evidenciar otros efectos relacionados con el conflicto como el aislamiento y la discriminación social y económica, lo anterior se ha traducido a lo largo del tiempo, en inequidad, baja calidad de vida y, en general, en que la comunidad sea considerada como un territorio periférico y con escasas oportunidades de desarrollo.

Ahora bien, con respecto a la cobertura y calidad los servicios públicos como acueducto, alcantarillado, disposición de basuras y de obras públicas como centros deportivos, instituciones educativas (primaria y secundaria) y puesto de salud, la comunidad expresa su motivación para gestionar tales proyectos con las autoridades locales. Así mismo, manifiestan su interés por lograr alianzas externas que les permitan capacitar a la comunidad en torno a actividades productivas y que promuevan el trabajo organizado, el sentido de pertenencia y la receptividad en sus habitantes.

De esta forma, se fue orientando a la comunidad para determinar y cuantificar los factores ciudadanos que serían utilizados más adelante para la calibración del modelo de Dinámica de Sistemas. a través de preguntas ¿cómo sería la economía si las actividades fueran tecnificadas?; ¿cómo proyectan a la comunidad de cinco a diez años?; ¿cómo sería la comunidad si tuviera apoyo de las entidades públicas o privadas?; ¿cómo sería la comunidad si tuviera acceso a todos los servicios públicos?, ¿qué dimensión considera más importante para el desarrollo de la comunidad, la dimensión social, ambiental o económica?, y por último, ¿Qué tipo de proyectos considera que se deben ejecutar en la vereda con el fin de mejorar sus condiciones y nivel de vida, proyectos de tipo, social, ambiental o económicos?

4.1.2 Factores ciudadanos

El taller participativo desarrollado en la vereda El Pesebre, permitió en conjunto con la comunidad, encontrar y priorizar tanto las problemáticas como las necesidades y expectativas a nivel social, económico y ambiental. Esto, a su vez, ayudó al equipo facilitador a establecer dos factores ciudadanos, es decir, componentes que tienen una marcada influencia en los proyectos e iniciativas que se realizan en la zona, y que además pueden expresarse matemáticamente en forma de porcentaje. Tales factores son el factor ciudadano agua (FC_{agua}) y el factor ciudadano suelo (FC_{suelo}). Conforme a estos dos factores es posible determinar qué tipo de proyectos necesita, prefiere o espera la comunidad según sea su situación actual y, además, expresarlo como una cantidad porcentual que afectará de una u otra manera los resultados del modelo propuesto.

Ahora bien, para cada uno de los factores FC_{agua} y FC_{suelo} , el equipo facilitador buscó establecer, según los resultados del taller participativo, la importancia en términos

porcentuales de aquellos tipos de proyectos que pueden tener mayor relevancia en la comunidad. En este sentido, se definieron tres subcategorías para cada factor ciudadano, se consideró entonces, el sub factor social, el sub factor ambiental y el sub factor económico.

Con respecto a la vereda El Pesebre, se evidenciaron grandes diferencias entre los factores ciudadanos definidos, por una parte, a pesar de que ambos recursos son abundantes en la zona, el agua es aprovechada de una mejor manera y también representa mayor importancia para sus habitantes. Por otro lado, el recurso del suelo, no solo ha sido desaprovechado sino también subutilizado, debido al desconocimiento y a la falta de apoyo técnico y financiero para iniciar proyectos que lo involucren directamente, como lo son los proyectos agrícolas.

No obstante, se reconoce también que la principal actividad económica de la población, la ganadería, se da gracias a las grandes extensiones de suelo con que cuentan. Las ecuaciones (15), (16) y (17), muestran los valores asignados a los factores ciudadanos (relacionados con el agua), según las opiniones y los resultados del taller participativo:

$$FCA_{agua} = 25\% \quad (15)$$

$$FCS_{agua} = 30\% \quad (16)$$

$$FCE_{agua} = 45\% \quad (17)$$

Ídem, en las ecuaciones (18), (19) y (20), se presentan los factores ciudadanos (relacionados con el suelo), así:

$$FCA_{suelo} = 20\% \quad (18)$$

$$FCS_{suelo} = 30\% \quad (19)$$

$$FCE_{suelo} = 50\% \quad (20)$$

Además, se pudo constatar que el factor económico, es el que mayor preponderancia tiene los habitantes de la vereda, y en este sentido, el desarrollo, consolidación y expansión de las actividades apícolas y el sostenimiento de la ganadería, son las acciones que actualmente juegan un rol muy importante para la economía local. La Tabla 4- 2, resume y define los parámetros con los que se determinó el factor ciudadano.

Tabla 4- 2: Factores ciudadanos (El Pesebre)

Factor Ciudadano	Descripción	Valor	Unidades
IA Agua	Importancia del desarrollo Medio Ambiental basado en el recurso del agua frente al desarrollo económico y social, indicado por la comunidad	25	%
IPA Agua	Importancia desarrollo de Proyectos Ambientales con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (sociales, económicos), indicado por la comunidad	25	%
IS Agua	Importancia del desarrollo social basado en el recurso del agua frente al desarrollo medio ambiental y económico, indicado por la comunidad	30	%
IPS Agua	Importancia desarrollo de Proyectos Sociales con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (ambientales, económicos), indicado por la comunidad	30	%
IE Agua	Importancia del desarrollo económico basado en el recurso del agua frente al desarrollo social o ambiental, indicado por la comunidad	45	%
IPE Agua	Importancia desarrollo Proyectos Económicos con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (ambientales, sociales), indicado por la comunidad	45	%

Tabla 4- 2: (Continuación)

Factor Ciudadano	Descripción	Valor	Unidades
IA Suelo	Importancia del desarrollo Medio Ambiental basado en el recurso del suelo frente al desarrollo económico y social, indicado por la comunidad	20	%
IPA Suelo	Importancia del desarrollo de Proyectos Ambientales con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (sociales, económicos), indicado por la comunidad	20	%
IS Suelo	Importancia del desarrollo social basado en el recurso del suelo frente al desarrollo medio ambiental y económico, indicado por la comunidad	30	%
IPS Suelo	Importancia desarrollo de Proyectos Sociales con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (ambientales, económicos), indicado por la comunidad	30	%
IE Suelo	Importancia del desarrollo económico basado en el recurso del suelo frente al desarrollo social o ambiental, indicado por la comunidad	50	%
IPE Suelo	Importancia desarrollo Proyectos Económicos con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (ambientales, sociales), indicado por la comunidad	50	%

En este punto, es importante hacer claridad acerca de los factores ciudadanos considerados en esta investigación. Aunque pudiera parecer que algunos de ellos son redundantes, los factores ciudadanos responden a dos inquietudes diferentes planteadas por los facilitadores del taller participativo a la comunidad. En principio, cuando se habla

de Importancia Económica, Social o Ambiental, se pretende conocer cuál sector (social, ambiental o económico) tiene más relevancia para sus habitantes y, se debería, por tanto, impulsar para lograr un desarrollo rápido y eficiente de la vereda. Ahora bien, cuando se habla de Importancia en Proyectos Económicos, Sociales o Ambientales, se busca que los participantes del taller reconozcan aquellos tipos de proyectos que consideran más adecuados, prioritarios o tal vez urgentes para la comunidad independientemente del sector en el que se ubiquen y de las consideraciones expresadas para las variables anteriores.

4.1.3 Modelo en Dinámica de Sistemas

Para el caso del municipio de Tame, del cual hace parte la vereda El pesebre, el índice de agua no contabilizada se estima en un 31.68%, según datos obtenidos del informe de gestión de la empresa de acueducto, aseo y alcantarillado de la región [117]. En cuanto a la tasa de utilización del suelo, esta se estima en un 1.17%, calculada según la información consignada en el perfil productivo del municipio de Tame [118].

En relación a los aportes de agua definidos como W , la vereda tiene como principales afluentes los ríos Lopeño y Lejía. Debido a que el municipio no cuenta con estaciones de limnimetría en ninguno de los ríos, no es posible tener una medida actualizada del caudal de los mismos, sin embargo, teniendo en cuenta que el río Lopeño es clasificado de orden cinco (por su número de afluentes) y el río Tame de orden cuatro, se asumirá para este modelo, el caudal estimado para este último, el cual tiene un promedio de $23.96m^3$ [119].

Por otro lado, otro de los principales aportes de agua en la región está dado por los niveles de precipitaciones anuales, las cuales tienen un promedio de 2890 mm/año . W , como se muestra en la ecuación (2), además de estar definida como una función continua, depende del ahorro de este recurso (A_{agua}), (2), en función del precio por metro cúbico ($Precio_{agua}$), (3), el cual para esta región está valorado aproximadamente en $6000 \text{ pesos}/m^3$ para las zonas rurales. L es la cantidad de suelo que se logra optimizar para el desarrollo de proyectos sostenibles, que para el caso particular del municipio de Tame, corresponde al número de hectáreas que se vienen tecnificando, 3933 Ha, aproximadamente [118]. L , como se muestra en la ecuación (3), es también una función continua que depende del ahorro que se logre en este recurso, expresado como A_{suelo} en

función del precio por hectárea, que para el caso del departamento de Arauca (donde se localiza la vereda El Pesebre), tiene un valor promedio de 150 mil pesos por hectárea [118]. La Tabla 4- 3 que se muestra a continuación, muestra los parámetros utilizados durante las simulaciones, su descripción, las unidades de medida de cada uno de ellos y la fuente de la cual fueron obtenidos. Es importante señalar que el presupuesto disponible para inversión puede cambiar, pero para esta investigación se asume un valor de promedio de 50 millones de pesos. Esta cantidad es ajustable según las circunstancias financieras establecidas por cada municipio

Tabla 4- 3: Parámetros utilizados para la simulación del modelo (El Pesebre).

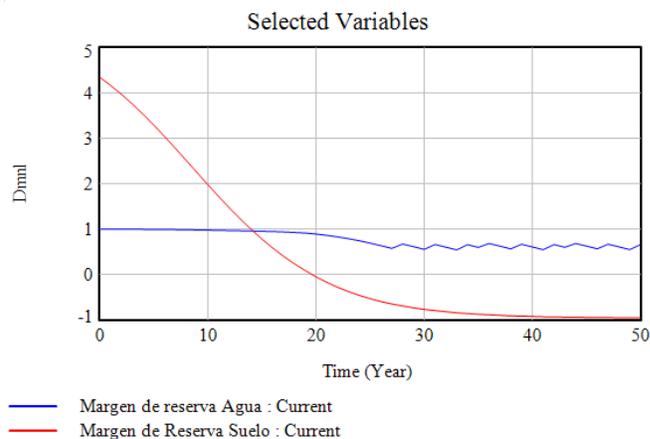
Parámetro	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
Tasa Aportes Agua	Cantidad de agua anual proporcionada por los diferentes afluentes de la zona	22	%	[119]
Tasa Agua No Utilizada	Cantidad de agua anual que no es consumida ni utilizada	45	%	[117]
Consumo Variable Agua	Cantidad de agua consumida superior al promedio anual	60	metros cúbicos	[117]
Consumo Fijo de Agua	Cantidad promedio de agua consumida anual	130	metros cúbicos	[117]
Población	Número de habitantes	500	personas	[118]
Precio Agua	Valor al que se paga el m ³ de agua	50	pesos	[117]
Presupuesto Disponible	Cantidad de dinero disponible para inversión	50	millones de pesos	
Precio Suelo	Valor pagado por una Ha de tierra en promedio	5	millones de pesos	[120]
Uso del Suelo	Cantidad de suelo en Ha utilizado por año	9000	Ha	[121]
Uso Proyectado Suelo	Proporción de tierra (respecto al total) que se planea utilizar para los siguientes años	30	%	[118]

Tabla 4- 3: (continuación)

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
Tasa Utilización Suelo	Proporción de tierra (respecto al total) que es utilizado cada año	15	%	[118]
Suelo Total	Total de Ha de suelo (utilizadas y no utilizadas)	515	miles de Ha	[118]

4.1.4 Simulaciones del modelo para la evaluación y priorización

En las simulaciones que se presentan a continuación, se confirma la hipótesis que fue planteada desde un inicio. Por una parte, los ciclos de balance B1 y B4 de la Figura 4- 3, muestran como el cambio en los niveles de la oferta y la demanda de agua o de suelo, representados en los márgenes definidos, generan información clave, a modo de alertas, que permiten realizar un control adecuado en las inversiones.

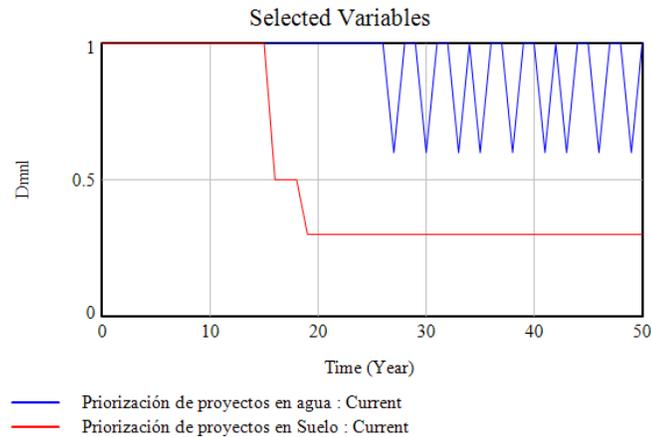
Figura 4- 3: Cambios en los niveles de oferta y demanda de agua y suelo.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se observa como en el ciclo de refuerzo R3, es influenciado por los factores ciudadanos, establecidos mediante la participación de la comunidad. De acuerdo con la Figura 4- 4, para el caso de la vereda El Pesebre, se evidencia como la comunidad, da

preferencia a los proyectos en agua, es decir aquellos en el los que sus fuentes hídricas pueden ser aprovechadas con un fin económico para sus habitantes.

Figura 4- 4: Priorización de proyectos según el factor ciudadano.



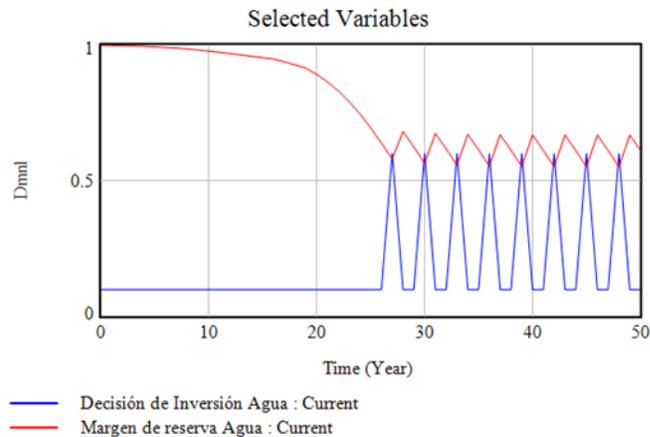
Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, a pesar de este marcado interés, la realidad actual, muestra que son los proyectos de suelo los que se ven favorecidos. Esta situación que se presenta en la vereda, no se encuentra asociada a un factor de reducción o escasas agua, sino que se relaciona directamente con el apoyo económico para emprender proyectos relacionados con el uso del suelo. Así, se hace natural el interés que han despertado en la comunidad proyectos apícolas y ganaderos, proyectos en los cuales, pueden utilizar las grandes extensiones de tierra, con una mínima inversión y en parte son auspiciados por el gobierno local y algunas cooperativas de la región.

Ahora, en la Figura 4- 5 y la Figura 4- 6, se observa cómo las decisiones de inversión son, en cierta medida, influenciadas por el factor ciudadano, el cual representa los saberes locales en relación a las necesidades y expectativas de la comunidad. Lo anterior, claramente puede dar luces a los tomadores de decisiones quizá no para elegir los proyectos financiera o políticamente aceptables para un gobierno o las instituciones, sino los más adecuados para la comunidad. En el caso de la vereda El Pesebre, el hecho de que el factor ciudadano se inclinara hacia los proyectos de agua y de tipo social, resalta en primer lugar sus carencias de infraestructura sanitaria, acueducto y alcantarillado, agua potable y disposición de residuos sólidos; y, en segundo lugar, evidencia su disposición

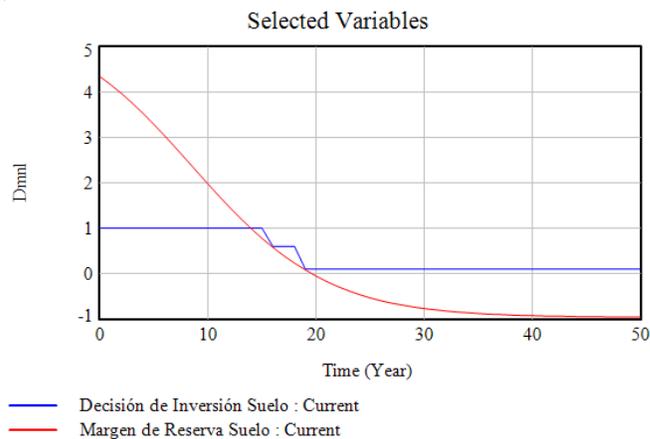
para emprender proyectos económico - ambientales, como el turismo ecológico, en los cuales las fuentes hídricas y el PNN Cocuy sean los principales atractivos.

Figura 4- 5: Influencia de los factores ciudadanos en la decisiones de inversión (agua).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4- 6: Influencia de los factores ciudadanos en las decisiones de inversión (suelo).

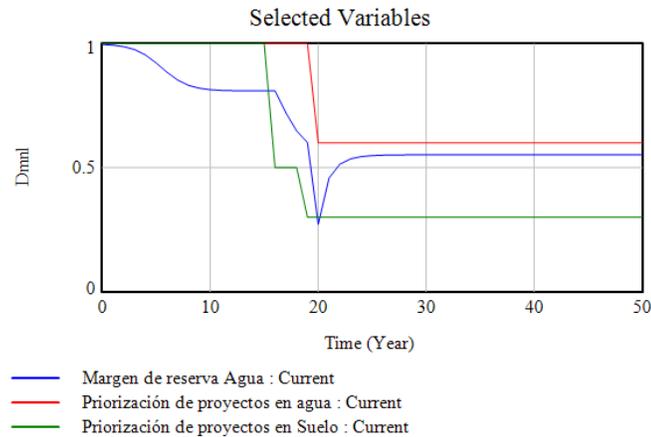


Fuente: Elaboración propia

Aunque los márgenes de reserva entregan a los tomadores de decisiones una visión general acerca de los proyectos que pueden llevarse a cabo en la zona y además permiten el balance de los recursos, para evitar escases de los mismos, se observa como el saber local actúa en situaciones de crisis. Así, por ejemplo, la Figura 4- 7, muestra como ante una eventual escases de agua, el factor ciudadano, prioriza las iniciativas que impactan el

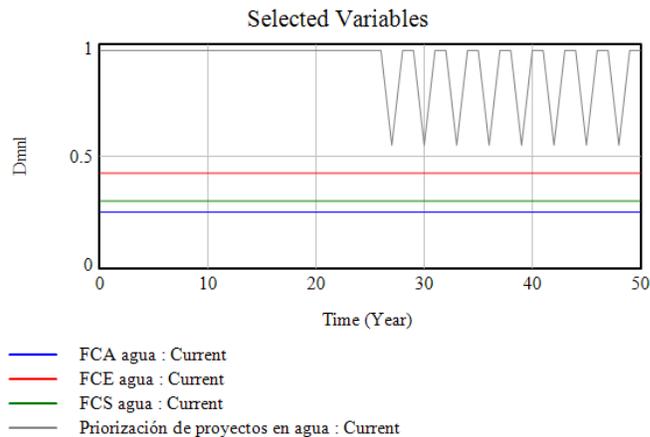
agua para fortalecer aquellas actividades económicas que la requieren, manteniendo el nivel de vida de sus habitantes.

Figura 4- 7: Respuesta del factor ciudadano ante eventual escasez de recursos.

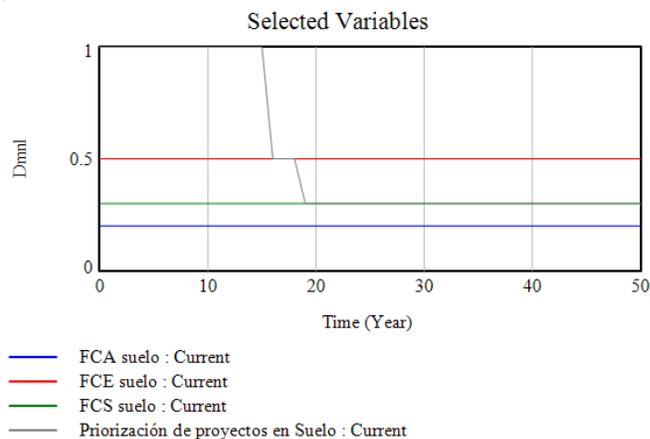


Fuente: Elaboración propia

Y, si bien se puede decir que, la vereda El pesebre cuenta con una notoria abundancia de los recursos del agua y del suelo, lo que hace que los márgenes de reserva sean positivos aun en la temporada de verano (información obtenida gracias a la actividad realizada durante el taller participativo, denominada calendario estacional), es nuevamente el factor ciudadano, quien inclina la toma de decisiones, en este caso, como lo muestra la Figura 4- 8 y la Figura 4- 9, hacia los proyectos económicos que influyan en el mejoramiento de la calidad de vida de la población. En este punto, son las expectativas de la población las que se expresan en el modelo, ya que como se mencionó anteriormente, al existir un margen de reserva positivo para ambas variables, cualquier proyecto (en agua o en suelo) es factible de realizarse con buenos resultados.

Figura 4- 8: Preferencia hacia los proyectos relacionados con el recurso del agua.

Fuente: Elaboración propia

Figura 4- 9: Preferencia hacia los proyectos relacionados con el recurso del suelo.

Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Evaluación y priorización mediante ANP (El Pesebre)

Una vez se realizaron las simulaciones del modelo en Dinámica de Sistemas (DS), se dio inicio a la segunda fase de la metodología propuesta, esta consistió en la aplicación del Proceso Analítico de Redes (Analytic Network Process - ANP). Teniendo ya estructurada la red ANP, la cual fue descrita anteriormente (capítulo 4), las seis dimensiones propuestas (social, ambiental, económica, gobierno, factores ciudadanos y proyectos) así como sus elementos (variables) correspondientes, fueron evaluados según las relaciones de dependencia y realimentación definidas.

Como se mencionó, el método ANP se basa en la comparación por pares [95], [97]–[102] para determinar las prioridades entre los indicadores o variables involucradas en la evaluación. Por tanto, para dicha comparación, se pidió a los expertos que, según la información presentada en las simulaciones del modelo en Dinámica de Sistemas, evaluaran la relevancia de los indicadores considerados, de acuerdo con la escala fundamental de Saaty [94], [103]–[105] (ver Tabla 3- 1).

El primer paso de la evaluación se refiere a las comparaciones por pares entre los clústeres [88], [91], es decir, entre las seis dimensiones definidas. Una vez recopiladas las evaluaciones, fue posible desarrollar la matriz de valoración [35], [102], [106], [107], en la cual los valores numéricos representan la influencia identificada para los elementos de la red. El segundo paso luego de haber establecido las prioridades de los clústeres fue realizar la comparación por pares para los nodos o elementos de cada clúster [85], [96], [108], [109]. En cuanto a la evaluación de cada clúster, los juicios fueron realizados teniendo en cuenta las influencias e interdependencias [95], [110] reconocidas en la red. Como ejemplo, la Figura 4- 10, muestra la comparación por pares en el clúster "Dimensión Económica". Por ejemplo, el valor 5 asignado en la sexta comparación, se refiere a la escala fundamental de Saaty y significa que los expertos consideraron a la "Dimensión Económica" con una importancia más fuerte que la "Dimensión Ambiental".

Figura 4- 10: Comparación por pares en el clúster dimensión económica.

Node Cluster		Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct																		
Choose Cluster		Dimensión Económica is strongly more important than Dimensión Ambiental																		
Dimensión Econ~																				
1.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
2.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
3.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
4.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
5.	Alternatives	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
6.	Dimensión Am~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
7.	Dimensión Am~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
8.	Dimensión Am~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
9.	Dimensión Am~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
10.	Dimensión Ec~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4- 11, ilustra la comparación por pares entre los nodos (elementos) que pertenecen al clúster Dimensión Ambiental. De igual manera que se realizó en la comparación por pares de los clústeres, para la asignación de valores se utilizó la escala fundamental de Saaty con el fin de determinar la importancia de las diferentes variables que lo componen. En detalle, los valores asignados significan que, primero, el “margen de reserva del agua” es más importante que “el margen de reserva del suelo” (valor 3); segundo, el “oferta de agua” es igual o moderadamente más importante que la “oferta de suelo” (valor 2); y tercero, que el “margen de reserva del agua” es moderadamente más importante que la “oferta de suelo” (valor 3). Se le ha dado una gran importancia al “margen de reserva del agua” en la zona que rodea la vereda El Pesebre. Esto se debe en parte a que el agua es de vital importancia en los cultivos y gracias a los acueductos locales todos los habitantes pueden beneficiarse de ella, al contrario, con el suelo o las tierras, las cuales son propiedad privada de habitantes de la comunidad o de empresas que establecieron sus cultivos en la zona, por cuanto el beneficio es individual, según sea aprovechado. En este contexto, es posible subrayar que la comparación por pares se ha realizado considerando las características de la zona y así mismo, las problemáticas y las necesidades de la comunidad del Pesebre.

Figura 4- 11: Comparación por pares entre elementos o nodos de la red ANP.

Node	Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct															
Choose Node		Comparisons wrt "Acueducto" node in "Alternatives" cluster																			
Acueducto		Acueducto is moderately more important than Cancha de fútbol																			
Cluster: Alternatives		1. Acueducto	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
Choose Cluster		2. Acueducto	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
Alternatives		3. Acueducto	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
		4. Cancha de fútbol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
		5. Cancha de fútbol	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5
		6. Centro de Ac~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas todas las matrices de comparación por pares para todas las dimensiones y los nodos, se desarrolla la supermatriz no ponderada [90], [95], [99], en la cual se detallan la totalidad de las prioridades obtenidas mediante las comparaciones por pares. Así mismo, la supermatriz representa las relaciones entre los nodos que componen

la red. Ahora bien, para obtener la supermatriz ponderada, fue necesario multiplicar la matriz no ponderada por el vector final de prioridades [102], [103], [111]. Es importante resaltar que, tanto para la construcción de la red ANP, como para las evaluaciones por pares y el desarrollo y operación de las matrices, fue utilizado el software Super Decisions desarrollado por la fundación Creative Decisions [112]. La Figura 4- 12, a continuación, muestra la tabla de prioridades generada mediante el software.

Figura 4- 12: Tabla de prioridades generada mediante el software Super Decisions.

Network: ANP(veinte)_Tame.sdmod: ratings: Priorities

Here are the priorities.

Name	Normalized by Cluster	Limiting
Acueducto	0.26744	0.040851
Cancha de fútbol	0.12915	0.019727
Centro de Acopio	0.43466	0.066392
Hidroeléctrica	0.16875	0.025776
Margen de Reserva de Agua	0.28874	0.032080
Margen de Reserva de Suelo	0.30049	0.033386
Oferta de Agua	0.19487	0.021651
Oferta de Suelo	0.21590	0.023988
Uso del Agua	0.45445	0.061990
Uso del Suelo	0.54555	0.074418
Demanda de Agua	0.29082	0.059552
Demanda de Suelo	0.39119	0.080106
Población	0.31799	0.065116
F.C. Ambiental	0.18257	0.063862
F.C. Económico	0.47203	0.165116
F.C. Social	0.34540	0.120821
Incentivo Poyectos Ambientales	0.14964	0.006759
Incentivo Proyectos Económicos	0.46675	0.021082
Incentivo Proyectos Sociales	0.38361	0.017327

Fuente: Elaboración propia

4.2 Vereda California (Fresno, Tolima, Colombia)

La aplicación de la metodología propuesta, se llevó a cabo mediante un caso de estudio en la vereda California, ubicada en el departamento del Tolima en Colombia (ver Figura 4-13), esta zona, además, pertenece a la región del Magdalena Centro, históricamente afectada por el conflicto armado interno hasta el 2016 año en el que se firma el acuerdo de paz. La vereda se extiende sobre 150 hectáreas y se encuentra en la ladera oriental de la Cordillera Central de Colombia a una altura sobre el nivel del mar de 1800 metros y a su vez es parte de la cuenca del río Guarinó, importante afluente del río Magdalena, principal arteria fluvial del país.

Figura 4- 13: Ubicación geográfica vereda California.



Fuente: Gobernación del Tolima [122].

4.2.1 Taller participativo (vereda California, Fresno, Tolima)

Mediante el taller participativo realizado con la comunidad de la vereda, fue posible reunir la información necesaria para calibrar el modelo de balance en Dinámica de Sistemas, de acuerdo con las variables y los parámetros propuestos relacionados con la oferta y la demanda del agua y del suelo, así como los factores ciudadanos y el apoyo del gobierno local y nacional, e igualmente otras instituciones de financiación. La Figura 4- 14, presenta algunas imágenes de las actividades realizadas. Así mismo, el taller con la comunidad se trabajó a través del método denominado Diagnóstico Rural Participativo [39], [43]–[45],

[123]–[128], la Tabla 4- 4, presenta los principales hallazgos, clasificados según la dimensión (clústeres de la red ANP) a la cual corresponden (social, ambiental, económica y de gobierno). Además, se presentan los factores ciudadanos que fueron determinados por el equipo facilitador del taller luego de finalizado y, así mismo, las alternativas, es decir, los diferentes proyectos a evaluar y priorizar, las cuales también forman parte de los 6 clústeres de la red.

De igual forma, para este caso de estudio que es presentado completo en [129], fue creado, además, un repositorio con el registro audiovisual completo del taller participativo realizado con la comunidad de la vereda California, el cual puede ser consultado en el Anexo C al final de este documento.

Figura 4- 14: Comunidad de California en el Taller Participativo



Tabla 4- 4: Hallazgos del DRP clasificados por dimensión (clúster de la red ANP).

Hallazgo Identificado	Dimensión (Clúster de la red ANP)	Herramienta Utilizada (DRP)
Dificultades para el acceso a la vereda	Socio Económica	Diagrama de Venn
Agricultura en pequeña escala (autoconsumo y venta externa).	Socio Económica	Diagrama de Venn
Principales productos: Cacao, plátano, aguacate y café.	Socio Económica	Diagrama de Venn
Variedad climática, múltiples y cultivos y tierras muy fértiles	Económica	Matriz DOFA

Tabla 4- 4: (continuación)

Hallazgo Identificado	Dimensión (Clúster de la red ANP)	Herramienta Utilizada (DRP)
No se identifican proyectos de tipo agro turístico en la región.	Económica y de Gobierno	Matriz DOFA
Cohesión social	Social	Matriz DOFA
Abandono por parte del estado y el gobierno local	Social y de Gobierno	Matriz DOFA
La población de la vereda, en su mayoría corresponde a comunidades desplazadas por la violencia en regiones cercanas	Social	Diálogo semi - estructurado
Diversidad de pensamiento y enfoque de las problemáticas y necesidades de la comunidad	Social	Diálogo semi - estructurado
Imposibilidad de aprovechar adecuadamente los recursos naturales y el capital social existente debido a la falta de apoyo institucional en el desarrollo de proyectos de gran impacto y así mismo falta de capacitación a sus habitantes.	Socio Económica de Gobierno	Diálogo semi - estructurado
Afectación de los Suelos (a cambio de mayor productividad), por el uso de pesticidas y agroquímicos en los cultivos	Socio Económica	Diálogo semi - estructurado
La comunidad de California reconoce que la tecnificación en sus cultivos, puede significar mayor capacidad competitiva en el mercado, así como un mejor posicionamiento de sus productos con precios más rentables	Socio Económica	Diálogo semi - estructurado

Tabla 4- 4: (continuación)

Hallazgo Identificado	Dimensión (Clúster de la red ANP)	Herramienta Utilizada (DRP)
El recurso natural del agua es ampliamente accesible para los habitantes, y se toma directamente de los nacederos y quebradas existentes en la zona.	Ambiental	Diálogo semi - estructurado
La comunidad reconoce los problemas que subyacen del consumo del agua no potabilizada en relación con la generación de enfermedades	Social Ambiental	Diagrama de Venn
No se identifican en la vereda procesos de industrialización o masificación de los cultivos principales, siendo la producción agrícola en pequeña escala la principal fuente económica, así como el subempleo en veredas aledañas	Económica	Diagrama de Venn
No se identifican gestión de proyectos o recursos para proyectos productivos en la vereda, lo cual dificulta el mejoramiento de las condiciones físicas, económicas, naturales y culturales de la comunidad	Gobierno	Diálogo Semi - Estructurado

4.2.2 Factores ciudadanos

El taller participativo desarrollado en la vereda California, permitió en conjunto con la comunidad, encontrar y priorizar tanto las problemáticas como las necesidades y expectativas a nivel social, económico y ambiental. Para este fin, además de las herramientas mencionadas en el capítulo 1 de este documento, se dispuso de encuestas en las que participaron los asistentes al taller y que ayudaron al equipo facilitador a cuantificar y establecer los factores ciudadanos, y que como ya se observó en el caso de estudio anterior tienen una marcada influencia en los proyectos que se pretenden realizar

en la zona. La tabulación de las encuestas además de su análisis, permitieron que los factores ciudadanos fueran calculados de forma más objetiva, teniendo en cuenta las preferencias expresadas por la comunidad. Ahora bien, para cada uno de los factores FC_{agua} y FC_{suelo} , el equipo facilitador buscó establecer, según los resultados del taller participativo, la importancia en términos porcentuales de aquellos tipos de proyectos que pueden tener mayor relevancia en la comunidad. Teniendo en cuenta que esta investigación se enfocó en relación de los recursos naturales del agua y del suelo con el desarrollo de proyectos verdes, se determinó para cada recurso considerado, tres factores ciudadanos, social, ambiental y económico. La Tabla 4- 5, muestra los factores ciudadanos generales y la Tabla 4- 6, la discriminación de los factores por dimensiones.

Tabla 4- 5: Factores ciudadanos agua y suelo (generales).

FACTORES CIUDADANOS – VEREDA CALIFORNIA	
FACTOR CIUDADANO (AGUA) FC_{AGUA}	26%
FACTOR CIUDADANO (SUELO) FC_{SUELO}	74%

Tabla 4- 6: Factores ciudadanos discriminados por dimensión.

FACTORES CIUDADANOS – VEREDA CALIFORNIA	
Social FCS_{AGUA}	33%
Ambiental FCA_{AGUA}	25%
Económico FCE_{AGUA}	22%
Social FCS_{SUELO}	67%
Ambiental FCA_{SUELO}	75%
Económico FCE_{SUELO}	78%

Con respecto a la vereda California, se evidenciaron grandes diferencias entre los factores ciudadanos definidos, por una parte, a pesar de que ambos recursos son abundantes en la zona, el agua es aprovechada de una mejor manera y también representa mayor importancia para sus habitantes. Por otro lado, el recurso del suelo, no solo ha sido desaprovechado sino también subutilizado, debido al desconocimiento y a la falta de apoyo técnico y financiero para iniciar proyectos que lo involucren directamente, como lo son los proyectos agrícolas.

Además, se pudo constatar que el factor ciudadano suelo FC_{SUELO} , es el que mayor preponderancia tiene los habitantes de la vereda, y en este sentido, el desarrollo, consolidación y expansión de las actividades agrícolas, son las acciones que actualmente juegan un rol muy importante para la economía local. La Tabla 4- 7, resume y define los parámetros con los que se determinó el factor ciudadano.

Tabla 4- 7: Factores ciudadanos (vereda California)

Factor Ciudadano	Descripción	Valor	Unidades
IA Agua	Importancia del desarrollo Medio Ambiental basado en el recurso del agua frente al desarrollo económico y social, indicado por la comunidad	25	%
IPA Agua	Importancia desarrollo de Proyectos Ambientales con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (sociales, económicos), indicado por la comunidad	25	%
IS Agua	Importancia del desarrollo social basado en el recurso del agua frente al desarrollo medio ambiental y económico, indicado por la comunidad	33	%
IPS Agua	Importancia desarrollo de Proyectos Sociales con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (ambientales, económicos), indicado por la comunidad	33	%
IE Agua	Importancia del desarrollo económico basado en el recurso del agua frente al desarrollo social o ambiental, indicado por la comunidad	22	%
IPE Agua	Importancia desarrollo Proyectos Económicos con enfoque en el agua frente a otro tipo de proyectos (ambientales, sociales), indicado por la comunidad	22	%

Tabla 4- 7: (continuación)

Factor Ciudadano	Descripción	Valor	Unidades
IA Suelo	Importancia del desarrollo Medio Ambiental basado en el recurso del suelo frente al desarrollo económico y social, indicado por la comunidad	75	%
IPA Suelo	Importancia del desarrollo de Proyectos Ambientales con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (sociales, económicos), indicado por la comunidad	75	%
IS Suelo	Importancia del desarrollo social basado en el recurso del suelo frente al desarrollo medio ambiental y económico, indicado por la comunidad	67	%
IPS Suelo	Importancia desarrollo de Proyectos Sociales con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (ambientales, económicos), indicado por la comunidad	67	%
IE Suelo	Importancia del desarrollo económico basado en el recurso del suelo frente al desarrollo social o ambiental, indicado por la comunidad	78	%
IPE Suelo	Importancia desarrollo Proyectos Económicos con enfoque en el suelo frente a otro tipo de proyectos (ambientales, sociales), indicado por la comunidad	78	%

4.2.3 Modelo en Dinámica de Sistemas

La calibración del modelo propuesto se hizo con base en dos fuentes principales, la primera correspondiente al taller participativo desarrollado con los habitantes de la vereda California y la segunda correspondiente a fuentes secundarias como las páginas web de la alcaldía del municipio y de fundaciones y corporaciones privadas que trabajan en la región apoyando la comunidad a través de proyectos de desarrollo rural, entre otros. Como

resultado, se presenta a continuación la Tabla 4- 8, Calibración del modelo en Dinámica de Sistemas, en la cual se describen los parámetros, su valor y la fuente de donde fue tomado. Igualmente, en la tabla se muestra el valor asignado a cada factor ciudadano y otros supuestos que se tienen en cuenta dentro del Sistema.

Tabla 4- 8: Calibración del modelo en Dinámica de Sistemas.

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
Tasa de aportes de agua	Cantidad de agua anual proporcionada por los diferentes afluentes de la zona	22	%	[122], [130]
Tasa Agua No Utilizada	Cantidad de agua anual que no es consumida ni utilizada	45	%	[122], [130]
Consumo Variable Agua	Cantidad de agua consumida superior al promedio anual	60	m^3	[122], [130]
Consumo Fijo de Agua	Cantidad promedio de agua consumida anual	130	m^3	[122], [130]
Población	Número de habitantes	200	Personas	[122], [130]
Precio Agua	Valor al que se paga el m^3 de agua	6000	Pesos	[122], [130]
Presupuesto Disponible	Cantidad de dinero disponible para inversión	50	Millones de pesos	Suposición para El modelo
Precio Suelo	Valor pagado por una Ha de tierra en promedio	150	Miles de pesos	[122], [130]
Uso del Suelo	Cantidad de suelo en Ha utilizado por año	9000	Ha	[122], [130]
Uso Proyectado Suelo	Proporción de tierra (respecto al total) que se planea utilizar para los siguientes años	30	%	[122], [130]

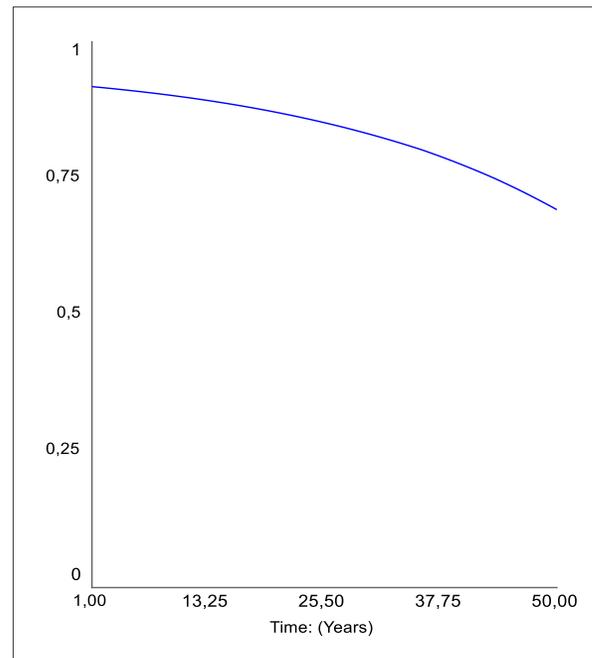
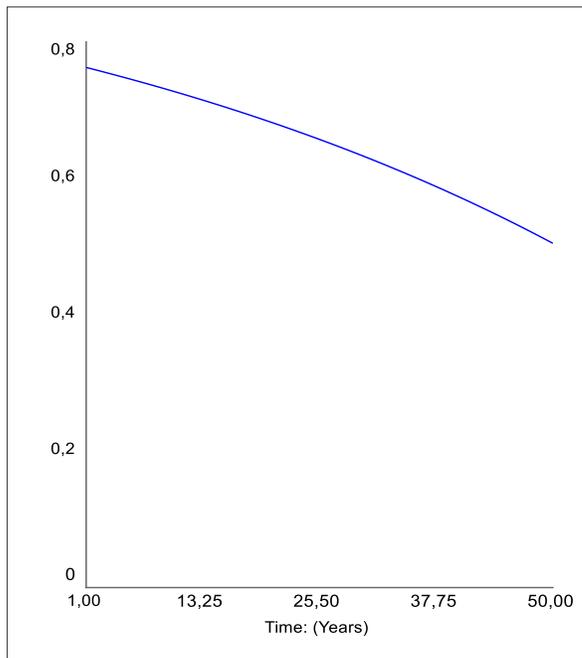
Tabla 4- 8: (continuación)

Parámetro	Descripción	Valor	Unidades	Fuente
Tasa Utilización Suelo	Proporción de tierra (respecto al total) que es utilizado cada año	15	%	[122], [130]
Suelo Total	Total de Ha de suelo (utilizadas y no utilizadas)	515	Miles de Hectáreas	[122], [130]
FCS _{agua}	Factor Ciudadano Social (Agua)	20%	Sin Dimensión	Taller Participativo
FCA _{agua}	Factor Ciudadano Ambiental (Agua)	25%	Sin Dimensión	Taller Participativo
FCE _{agua}	Factor Ciudadano Económico (Agua)	55%	Sin Dimensión	Taller Participativo
FCS _{suelo}	Factor Ciudadano Social (Suelo)	10%	Sin Dimensión	Taller Participativo
FCA _{suelo}	Factor Ciudadano Ambiental (Suelo)	30%	Sin Dimensión	Taller Participativo
FCE _{suelo}	Factor Ciudadano Económico (Suelo)	60%	Sin Dimensión	Taller Participativo

4.2.4 Simulaciones del modelo para la evaluación y priorización

A continuación, se presentan una serie de simulaciones del modelo propuesto, realizadas mediante el software Stella Architect, en estas puede observarse la variación de las diferentes variables de interés en el modelo, las cuales fueron presentadas a los expertos para que fueran consideradas en la evaluación y priorización de los proyectos verdes. Una vez más al igual que se trató en el caso de estudio realizado con esta misma metodología en la vereda Pesebre (Tame, Arauca) [29], se confirma la hipótesis que fue planteada desde un comienzo, en primer lugar, los márgenes de reserva (agua y suelo) de la Figura 4- 15 y la Figura 4- 16, respectivamente, muestran cómo el cambio en los niveles de la oferta y la demanda de agua o de suelo, representados en los márgenes definidos, generan alertas tempranas, que permiten realizar un control adecuado en las inversiones (ver Figura 4- 17).

Figura 4- 15: Simulación de la variable Margen de Reserva (Dimensión Ambiental).

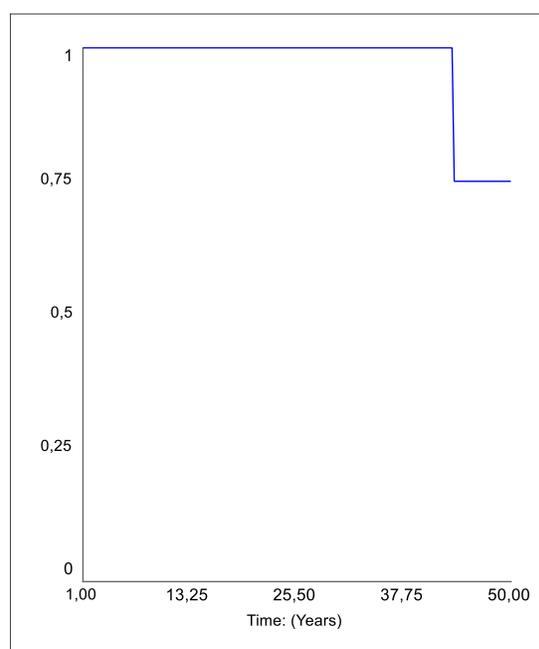
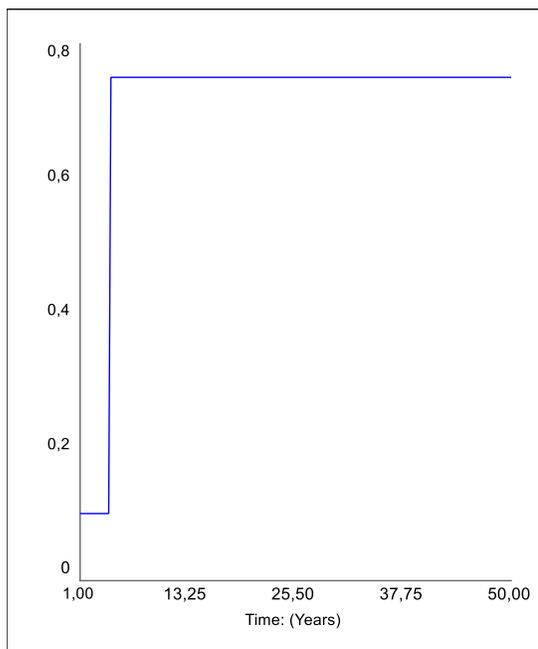


a. % Margen de Reserva Agua (Año 0 a 50)

b. % Margen de Reserva Suelo

Fuente: Elaboración propia

Figura 4- 16: Simulación de la variable Decisión de inversión (Dimensión Gobierno).

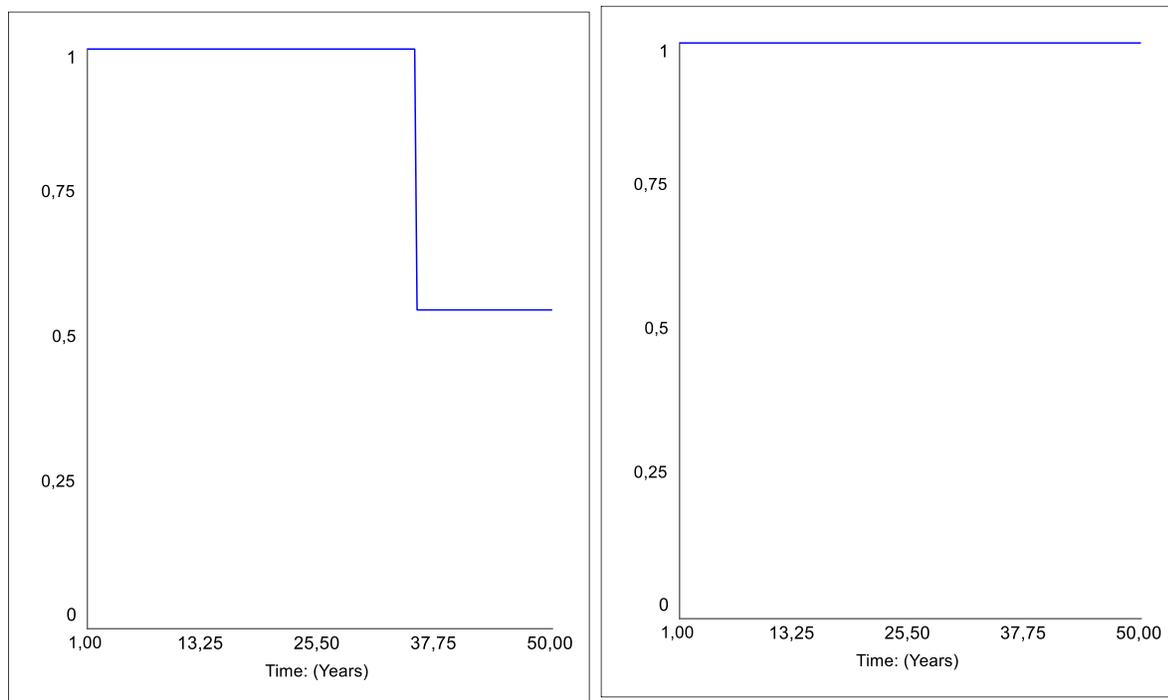


a. Decisión de Inversión Agua (Año 0 a 50)

b. Decisión de Inversión Suelo

Fuente: Elaboración propia

Figura 4- 17: Simulación de la variable Priorización de Proyectos (Dimensión Económica).



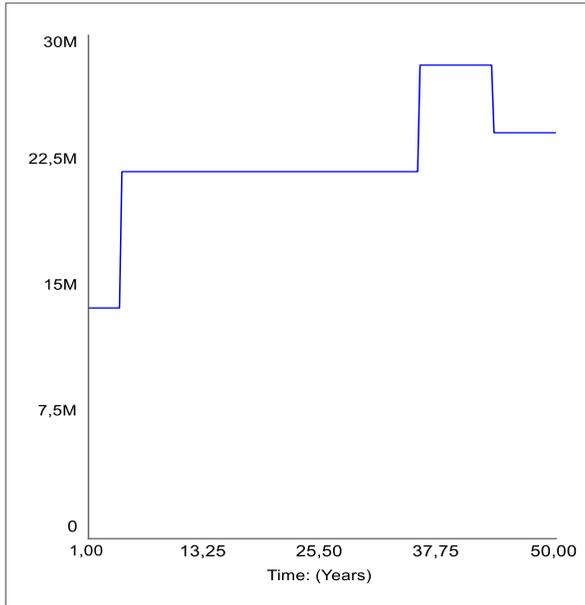
a. Priorización de Proyectos Agua (0 a 50)

b. Priorización de Proyectos Suelo (0 a 50)

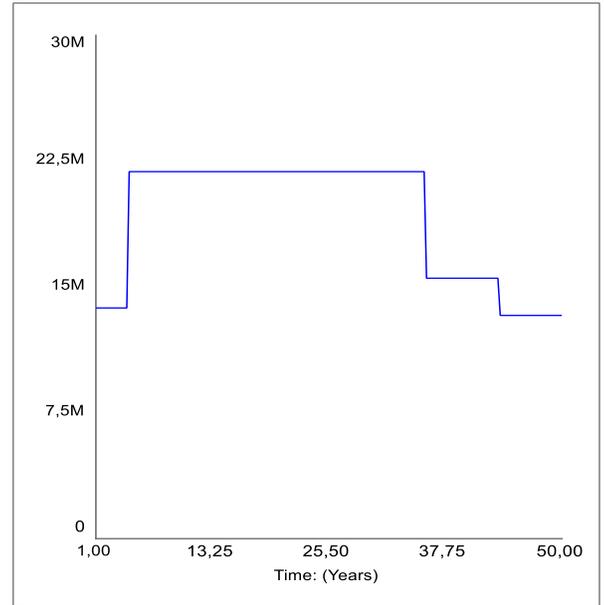
Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, se observa como las variables relacionadas a la priorización y optimización de los recursos del agua y el suelo, es también influenciado por los factores ciudadanos, establecidos mediante la participación de la comunidad. De acuerdo con la Figura 4- 18, la Figura 4- 19 y la Figura 4- 20, para el caso de la vereda California, se evidencia cómo la comunidad, da preferencia a los proyectos en agua, es decir aquellos en los que sus fuentes hídricas pueden ser aprovechadas con un fin social para sus habitantes.

Figura 4- 18: Optimización de los recursos (Dimensión Económica).



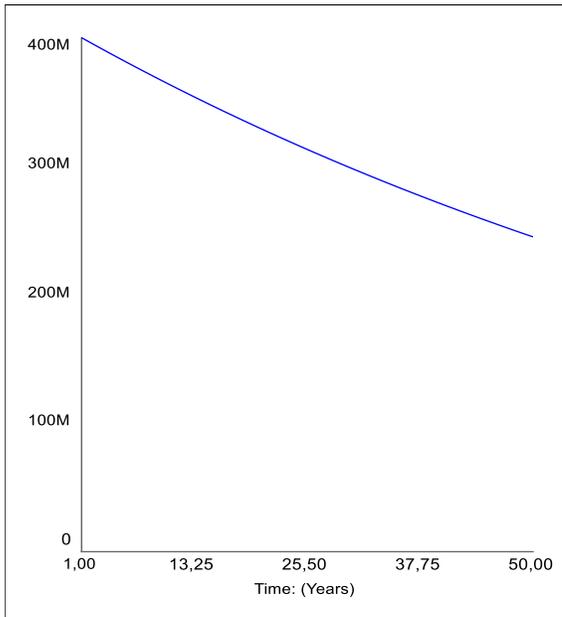
a. Optimización Uso del Agua (0 a 50)



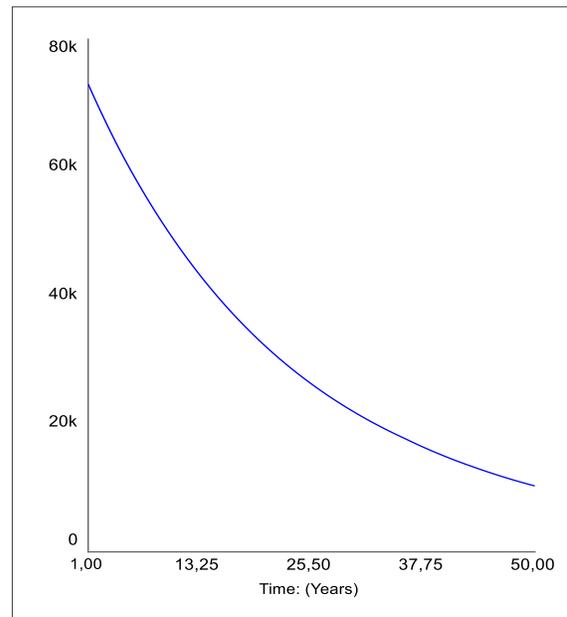
b. Optimización Uso del Suelo (0 a 50)

Fuente: Elaboración propia

Figura 4- 19: Simulación variables Agua y Suelo Disponibles (Dimensión Económica).

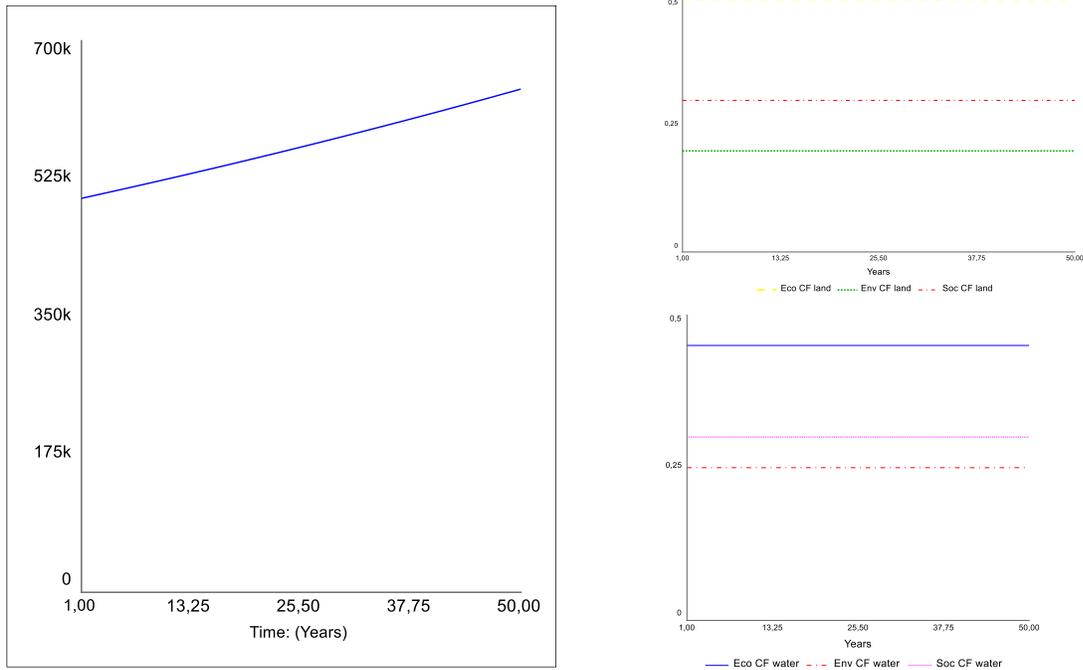


a. Agua Disponible (0 a 50)



b. Suelo Disponible (0 a 50)

Fuente: Elaboración propia

Figura 4- 20: Población y Factores Ciudadanos (Dimensión Social).

a. Población (0 a 50)

b. Factores Ciudadanos (0 a 50)

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Evaluación y priorización mediante ANP (California)

Para este caso, tanto el modelo como las simulaciones fueron realizadas en el software Stella Architect. Al igual que en el caso de estudio descrito anteriormente, se continuó con la etapa 4 de la metodología, y se llevó a cabo el Proceso Analítico de Redes (Analytic Network Process - ANP). Igualmente, se consideró la misma estructura de la red descrita en el capítulo 3, con las seis dimensiones propuestas (social, ambiental, económica, gobierno, factores ciudadanos y proyectos). Así mismo, fueron realizadas las evaluaciones correspondientes según las relaciones de dependencia y realimentación ya establecidas. Es de aclarar que en las alternativas (proyectos a evaluar y priorizar), fueron considerados los mismos proyectos que en el primer caso de estudio, esto con el fin de evidenciar como varían las problemáticas, necesidades y expectativas de comunidad a comunidad, según su acceso de a los recursos y así mismo, su grado de desarrollo actual.

Nuevamente, utilizando la escala fundamental de Saaty, se solicitó a los expertos realizar las comparaciones por pares entre los elementos de cada nodo e igualmente entre los

Figura 4- 22: Tabla de prioridades en el instante de tiempo 10.

Network: ANP(diez).sdmod: ratings: Priorities

Here are the priorities.

Name	Normalized by Cluster	Limiting
Acueducto	0.45698	0.076164
Cancha de fútbol	0.06193	0.010322
Centro de Acopio	0.34011	0.056685
Hidroeléctrica	0.14098	0.023496
Margen de Reserva de Agua	0.28419	0.047365
Margen de Reserva de Suelo	0.24793	0.041322
Oferta de Agua	0.23444	0.039074
Oferta de Suelo	0.23344	0.038906
Uso del Agua	0.35029	0.058382
Uso del Suelo	0.64971	0.108285
Demanda de Agua	0.34275	0.057125
Demanda de Suelo	0.32151	0.053585
Población	0.33574	0.055956
F.C. Ambiental	0.29161	0.048601
F.C. Económico	0.42824	0.071374
F.C. Social	0.28015	0.046692
Incentivo Proyectos Ambientales	0.30117	0.050195
Incentivo Proyectos Económicos	0.45487	0.075812
Incentivo Proyectos Sociales	0.24395	0.040659

Fuente: Elaboración propia

4.3 Resultados y priorización para los casos de estudio

El análisis de escenarios en el modelado en Dinámica de Sistemas, es útil para proporcionar un posible rango de futuros, basado en políticas y acciones [131]. En SDM, los valores de variables y parámetros se pueden ajustar para describir diferentes acciones y escenarios. Los resultados de las simulaciones serán diferentes en función de las

distintas entradas. Como se presentó en el capítulo anterior, para esta tesis doctoral se consideraron dos casos de estudio: la vereda El Pesebre (Arauca) y la vereda California (Tolima).

Para ambos casos de estudio se trabajó con base en escenarios inerciales, que representan el estado actual de las comunidades del posconflicto en Colombia y las escasas políticas en desarrollo, incentivos y proyectos verdes que existen para ellas. Ahora bien, para caracterizar cada caso de estudio, como se trató en capítulo 2, el modelo en Dinámica de Sistemas se calibró de acuerdo con los parámetros referentes a los recursos naturales (agua y suelo) de cada zona y, también, según los factores ciudadanos determinados mediante los talleres de participación. En detalle, las simulaciones de los escenarios se realizaron por espacio de 15 años mediante el software Vensim Pro, para el caso de la vereda El Pesebre, y, Stella Architect, para el caso de la vereda California. Se definieron, además, cinco instantes de tiempo en cuales se ejecutó el método ANP, siendo estos los años 0, 5, 10, 15 y 20; y, en cada uno de ellos se evaluaron y priorizaron los proyectos propuestos, obteniéndose así un ranking parcial. Los proyectos que se evaluaron y priorizaron se muestran a continuación en la Tabla 4- 9.

Tabla 4- 9: Proyectos a evaluar y priorizar.

Proyectos (Alternativas)	Impacto Esperado
Acueducto Veredal	Ambiental - Social
Centro de Acopio	Económico
Cancha de Fútbol	Social
Hidroeléctrica	Económico – Social - Ambiental

Es de aclarar que los mismos proyectos fueron evaluados en ambos casos de estudio, ya que, por una parte, ambas zonas tienen el potencial para desarrollarlos y en algún momento han sido propuestos a la comunidad como opciones para el desarrollo, pero no han sido llevados a cabo, y, por otra parte, al evaluar proyectos iguales es posible observar las diferencias en las problemáticas y necesidades de una comunidad a otra lo cual hace que un proyecto adecuado para una pueda no serlo para otra.

En este caso, la metodología propuesta indica que el proyecto más adecuado y que tendrá aceptación por parte de la comunidad de la vereda El Pesebre, corresponde a la ejecución del proyecto denominado *Centro de Acopio*.

Por otra parte, la Tabla 4- 12, muestra los resultados para el caso de estudio de la vereda California, municipio de Fresno, en el departamento del Tolima.

Tabla 4- 12: Evaluación y priorización final de proyectos (vereda California).

Proyecto	Año Cero	$W_j = 40\%$	Año Cinco	$W_j = 30\%$	Año Diez	$W_j = 15\%$	Año Quince	$W_j = 10\%$	Año Veinte	$W_j = 5\%$	Resultado Final
Acueducto	0,44	0,18	0,38	0,11	0,46	0,07	0,13	0,01	0,43	0,02	0,39
Cancha de Fútbol	0,06	0,02	0,07	0,02	0,06	0,01	0,05	0,00	0,07	0,00	0,06
Centro de Acopio	0,38	0,15	0,39	0,12	0,34	0,05	0,14	0,01	0,37	0,02	0,35
Hidroeléctrica	0,13	0,05	0,16	0,05	0,14	0,02	0,68	0,07	0,13	0,01	0,20
											1,00

En este caso, la metodología propuesta indica que el proyecto más adecuado y que tendrá aceptación por parte de la comunidad de la vereda California, corresponde a la ejecución del proyecto denominado *Acueducto*.

5. Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro

5.1 Conclusiones Principales

Se ha demostrado que, mediante el uso de un conjunto de herramientas participativas, numéricas y analíticas, utilizadas en esta tesis, se puede construir una metodología que facilite la evaluación y priorización de proyectos verdes en las comunidades del posconflicto en Colombia. Combinando dichas estrategias, se puede incluso alertar y atender tempranamente, problemáticas ambientales de escasez de recursos o aquellas relacionadas con el uso y abuso de los recursos.

Ahora bien, realizar un estudio puramente analítico, no solo implica mayor complejidad y, a su vez, significa caer de nuevo en el desconocimiento del capital y el aprendizaje social de las comunidades y por ende se eleva el grado de dificultad en la búsqueda de soluciones. Uno de los propósitos de esta tesis doctoral fue constatar el valor agregado y la complementariedad existente entre las herramientas que se emplean en este documento, la participación ciudadana, la dinámica de sistemas y los métodos de toma de decisiones multicriterio.

Se concluye entonces que, en cuanto a aspectos metodológicos vale la pena cualificar y cuantificar la participación ciudadana y conectarla con en el sistema para que haga parte en la abstracción de esquemas mentales que se pueden obtener con la dinámica de sistemas. Así mismo, se concluye que, un sistema como el construido mediante la dinámica de sistemas, puede transformarse en una red compleja que abordada de forma adecuada puede facilitar la toma de decisiones en el tema que se trate. Es decir, se puede explotar de manera más amplia los escenarios que se obtienen de las ecuaciones diferenciales, permitiendo por medio de esta metodología sistemática, que los expertos

comprendan las problemáticas y las necesidades de la comunidad y reconozcan las variables de importancia en el sistema para abordar de una mejor manera la evaluación y priorización de proyectos para la comunidad.

Específicamente, se ha diseñado este modelo de balance en dinámica de sistemas asociado a los recursos naturales del agua y del suelo para analizar y simular su comportamiento en un horizonte de tiempo de 20 años con el fin de que dicha información sirva de base para evaluar y priorizar proyectos verdes en determinados instantes y que al final la toma de decisiones sea la más acertada. Se concluye que, la participación ciudadana es un factor útil a la hora de direccionar las inversiones en cualquier tipo de proyectos (sociales, económicos o ambientales), teniendo en cuenta el conocimiento y capital social que cada comunidad, en particular, exhibe a través de sus habitantes.

Utilizar herramientas como el análisis de sensibilidad resulta ciertamente novedoso en el campo de la toma de decisiones campo y el propósito general de evaluar y priorizar proyectos. El esquema bajo el cual se realiza la integración numérica de soluciones es el adecuado, se observan simulaciones utilizando plataformas como Vensim y Stella Architect, y, se desarrolla una red compleja de toma de decisiones mediante el software Super Decisions, mediante la cual se realizan las evaluaciones de las relaciones de dependencia y realimentación, bajo el concepto del criterio de expertos.

Otro resultado que resalta en este trabajo es como la metodología es permite identificar puntos de inversión en el tiempo basados en parámetros tales como la tasa de ingreso de agua, la tasa de uso del suelo y los factores ciudadanos, por mencionar algunos ejemplos. Ello abre nuevas preguntas de investigación acerca de cómo los parámetros juegan un rol significativo en la distribución del presupuesto disponible y de los incentivos a los proyectos verdes de manera que se maximicen los beneficios, el retorno a la comunidad y por ende calidad de vida de sus habitantes.

Otro resultado para destacar, es cómo el uso de dinámica de sistemas facilita realizar un análisis de sensibilidad y evidenciar modos de comportamiento para valores específicos de los parámetros. El uso de un modelo de balance como el propuesto para evaluar y priorizar proyectos, no ha sido encontrado en los reportes de literatura y aún menos donde

se integren con métodos participativos y métodos de toma de decisiones multicriterio. En consonancia con la aplicación de métodos numéricos, también se logró evidenciar del análisis cualitativo, como por ejemplo los Incentivos a proyectos verdes y sus parámetros, como los factores ciudadanos, los cuales presentan puntos de inversión en el sistema, debido a que los mismos varían el comportamiento del modelo, cambiando con ello la toma de decisiones entre las alternativas a evaluar y priorizar. Es decir, se pueden presentar o menor cantidad de oscilaciones, dependiendo ya no de las condiciones iniciales sino de la propia evolución de sistema.

En este sentido, se ha logrado demostrar que es posible integrar un método estrictamente numérico y matemático como la Dinámica de Sistemas y un método cualitativo como el método del Proceso Analítico de Redes, lo anterior, lleva a pensar que es posible la aplicación de las matemáticas en procesos en los que generalmente no se utiliza. El principal desafío de esta tesis doctoral consistió en proporcionar una herramienta de evaluación y priorización de proyectos verdes en comunidades del posconflicto en Colombia, teniendo en cuenta la complejidad, multidimensionalidad y comportamiento dinámico a lo largo del tiempo además de la participación de la comunidad en respuesta a la carencia actual de una metodología de selección que integre las problemáticas, necesidades y expectativas sus habitantes. Los aspectos en común de estas técnicas permiten construir una metodología integrada en la cual ambos examinan la naturaleza de los problemas de decisión bajo análisis. En primer lugar, Tanto SDM como ANP se aplican para describir y analizar problemas de decisión complejos y dinámicos en muchos campos diferentes, como la evaluación y priorización de proyectos en comunidades del posconflicto. En segundo lugar, ambos evalúan la tipología de las relaciones mutuas. En la toma de decisiones del mundo real, se deben investigar algunos problemas considerando las relaciones no lineales y de retroalimentación entre las variables involucradas. Tanto SDM como ANP se utilizan en base a este principio y por esta razón se han integrado para crear un marco único para analizar procesos de decisión complejos. En tercer lugar, ambos evalúan los datos de manera similar. Tanto SDM como ANP consideran tanto datos cualitativos como cuantitativos.

Por otra parte, los resultados permiten subrayar tanto las fortalezas como las debilidades de la propuesta enfoque integrado. Las principales fortalezas se pueden resumir de la siguiente manera: El diagrama de bucle causal se puede considerar como una herramienta de apoyo adecuada para encontrar las relaciones entre los criterios a incluir en la red ANP. Además, El enfoque metodológico basado en la combinación de SDM y ANP puede considerarse adecuado para responder a la necesidad de una herramienta de evaluación que sea capaz de considerar las alternativas de proyectos verdes en función de su complejidad, multidimensionalidad y comportamiento dinámico en el tiempo. De hecho, fue posible analizar el sistema de recursos naturales de agua y suelo como un modelo de balance y un sistema complejo y adaptativo, en el que las intervenciones de una dimensión específica (de las seis dimensiones consideradas: social, ambiental, económica, gobierno, factores ciudadanos y proyectos) pueden provocar impactos o cambios en la toma de decisiones en cuanto a la ejecución de proyectos para una comunidad, sobre todo en el mediano y largo plazo.

En cuanto al empleo de herramientas de participación y aprendizaje social presentadas en esta investigación y sugeridas por autores como Tàbara & Pahl-Wostl [61], Pahl-Wostl [132] y Little, Hester, & Carey [133], entre otros, permitieron llevar a cabo diferentes tipos de análisis o diagnósticos, algunos de ellos experimentales como la determinación de los factores ciudadanos y otros de manera participativa y también estadísticos, y cuyo uso dependió de la comunidad a la cual se aplicó y también de las necesidades, el tiempo y los recursos disponibles del momento.

Así mismo, la investigación permitió demostrar como a través del uso de un conjunto de herramientas matemáticas, cualitativas y de participación ciudadana, es posible modelar la oferta y la demanda de los recursos naturales del suelo y del agua y, con base en esto, respaldar la toma de decisiones en relación a la evaluación y priorización de los proyectos verdes que se planeen desarrollar en el corto, mediano y largo plazo. Además, permite la generación de políticas públicas para el control de los recursos del agua y el suelo y la solución o mitigación de las problemáticas existentes.

Si bien los procesos de desarrollo y aprendizaje social no suelen estar ligados a la aplicación de las matemáticas, esta investigación muestra como esta ciencia, aplicada a

través de un modelado matemático [59], [60], también puede aportar en tal sentido indicando o resaltando aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar y priorizar proyectos, lo cual sumado o insertado en un proceso de toma de decisiones multicriterio como el método ANP que se propone, puede resultar de gran ayuda para los tomadores de decisiones lo cual redunde en mejores beneficios y mayor calidad de vida a la población [82], [84].

Las razones anteriores hacen que la integración lograda en la metodología propuesta, resulte en una innovadora alternativa, que se adapta a escenarios donde las problemáticas suelen ser complejas al involucrar la sociedad, más aún, considerando que dichas comunidades se encuentran en transición del conflicto armado al posconflicto, pero sus problemáticas continúan vigentes y siguen requiriendo la atención de los gobiernos locales y nacionales y demás instituciones que trabajan en la región. Se observa entonces, cómo la matemática, se adapta a problemas de índole complejo y reales que no solo permiten producir teoría, sino que es posible llevarlos a la práctica para la solución o al aporte al desarrollo social, sobre todo de las comunidades que ahora viven el posconflicto.

De acuerdo con el objetivo principal planteado desde un comienzo, esta investigación permitió determinar el grado de afectación que tienen las decisiones de inversión y los incentivos a la inversión en proyectos verdes, cuando se evalúa de manera conjunta los factores ciudadanos y la relación de oferta y demanda de los recursos naturales del agua y el suelo, en las comunidades del conflicto armado en Colombia.

Así mismo, es notable la relación entre el desarrollo social y la escasez de los recursos naturales, demostrada en las relaciones de oferta y demanda de agua y suelo. En este sentido, se observa cómo, la inadecuada utilización de los recursos tiene también efectos adversos en la comunidad, ralentiza los procesos de crecimiento y deteriora la calidad de vida de sus habitantes.

Por otro lado, con los resultados de esta investigación, se pone de manifiesto la utilidad de los modelos matemáticos y los métodos de toma de decisiones, en cuestiones de desarrollo social que además involucran problemáticas ambientales relacionadas al uso apropiado de los recursos naturales, especialmente el agua y el suelo. Así mismo, en una

época donde el cambio climático tiene relación directa con la calidad de vida [34], [54], [62], [134], [135], las decisiones acertadas reflejadas en este caso en el aumento de las capacidades de evaluación y priorización de proyectos, se convierten en una herramienta no solo para las autoridades locales y nacionales sino también para las mismas comunidades, con miras a emprender proyectos que favorezcan su entorno y a ellos mismos.

Así mismo, se evidencia en variables tales como los márgenes de reserva (de agua y suelo), presupuesto disponible y, los incentivos a los proyectos verdes, la relación directa con el desarrollo social de la comunidad, tal y como se confirma en las diferentes evaluaciones ANP, realizadas por los expertos en donde se señalan como aquellas con más peso al momento de priorizar los proyectos.

El hecho de emplear un método de priorización con los resultados parciales para obtener un único resultado, pone de manifiesto la importancia de la participación ciudadana en los procesos de evaluación y priorización, en especial en la metodología que se propone en esta investigación, ya que, en la determinación de los factores ciudadanos se consideran actividades que evidencian no solo “lo urgente” (problemáticas y necesidades presentes y que requieren acción inmediata), sino “lo importante” (necesidades y expectativas que deben atenderse a futuro en la población). A partir de la diferenciación de lo urgente y lo importante fue como se logró la ponderación los resultados parciales del ANP en la evaluación final.

Por último, es de notar que, la introducción del factor ciudadano a un modelo en dinámica de sistemas, así como la aplicación de los conceptos de oferta y demanda de los recursos naturales, no es una práctica común cuando se trata de evaluación y priorización de proyectos verdes. De ahí que, sus efectos puedan ampliarse y resultar determinantes no solo en el mejoramiento de las decisiones de inversión sino también en el aumento del aprendizaje social y el empoderamiento de la comunidad.

5.2 Cumplimiento de objetivos

Vale la pena recordar que, en la primera fase del proyecto de investigación, se hizo la revisión de la literatura, esto, permitió definir el tipo de herramientas que se utilizaron para definir la metodología de evaluación y priorización de proyectos verdes. Por lo que, a la par con las demás actividades realizadas fue necesaria la revisión constante de la literatura, esto con el fin de tener la certeza de que las herramientas por la cuales se optó, fueran las apropiadas para el tipo de problema considerado. Por tanto, uno de los resultados más significativos, fue la metodología que se presentó en los capítulos 1, 2 y 3, y, por supuesto, los casos de estudio donde se puso a prueba para esta tesis doctoral.

Para cumplir con el segundo objetivo, siguiendo la metodológica propuesta, se formuló un taller participativo en donde se pudiera caracterizar a la comunidad y además determinar los factores ciudadanos que se emplearían en el modelo en Dinámica de Sistemas, en el cual, se reflejó la oferta y demanda de los recursos naturales (agua y suelo) y su relación con las inversiones en proyectos. Esta etapa de la investigación la respaldan los resultados de los dos casos de estudio mostrados en el capítulo 4, en donde a través del modelo en Dinámica de Sistemas se genera información relevante que es utilizada luego para el proceso de evaluación y priorización por medio el método ANP.

Es así cómo, la continua revisión de la literatura, el modelo de balance de recursos (agua y suelo) y la red ANP lograda a partir de la identificación de las dimensiones y, las relaciones de dependencia y realimentación, fue posible descubrir las variables y parámetros principales que, por una parte, definen el comportamiento del sistema y, por la otra, influyen en el proceso de selección de los proyectos. De igual forma, luego de exponer las implicaciones y aplicaciones de la metodológica propuesta, para la evaluación y priorización e incluso para formulación de elementos de política pública de selección de proyectos, se logró ver que esta propuesta podría ser llevada a otros contextos, en los que, la participación comunitaria tiene gran importancia y por medio de un amplio conjunto de herramientas pueden incluirse en procesos de toma de decisiones.

5.3 Recomendaciones y trabajo futuro

Si bien es cierto que a través de los talleres participativos llevados a cabo con la comunidad se logró reunir información importante y necesaria para el proceso calibración y generación de información para los expertos, la principal limitación del enfoque propuesto radicó en la falta de fuentes secundarias referentes a los recursos naturales específicos (agua y suelo) de la comunidad, por lo que en algunos casos fue necesario recurrir a información de comunidades vecinas o con características similares a las de la comunidad objeto de estudio.

Por lo tanto, un enfoque de implementación futuro interesante implica la medición e integración de estas variables de manera que sea posible evidenciar su efecto tanto en las simulaciones del modelo como en la toma de decisiones. A futuro, el objetivo es entonces proporcionar una herramienta integrada capaz de mostrar tanto la evolución del sistema propuesto como de los impactos de cada proyecto en un mapa único como forma de ayuda a los tomadores de decisiones en función de encontrar los proyectos más adecuados y que mayor beneficio causarán a la comunidad.

A. Anexo: Análisis de contractividad para el modelo en Dinámica de Sistemas

A continuación, se presenta el desarrollo metodológico del análisis de contractividad (según [79], [80]), realizado para el modelo propuesto en Dinámica de Sistemas. Este análisis se llevó a cabo con el fin de estudiar el comportamiento dinámico del sistema y, al mismo tiempo, encontrar, a través de pruebas extremas, los valores máximos y mínimos para los cuales el modelo es válido de acuerdo con la hipótesis planteada desde un comienzo. con el fin de estudiar el comportamiento dinámico del modelo propuesto

Para este análisis de contractividad se tomaron las siguientes variables del sistema

R1 Available Water

R2 Available Land

Y los siguientes parámetros

WIR Water Input Rate

LUR Land Use Rate

El modelo se simuló en 81 ocasiones, teniendo en cuenta que, para tanto para las variables r_1 y r_2 como para los parámetros LUR y WIR, se utilizaron tres valores: original, mínimo y máximo. La Tabla A- 1, presenta los valores empleados para cada caso. Luego, dejando el parámetro LUR constante (comenzando por el valor mínimo), se organizaron los datos restantes en las 27 combinaciones posibles, y se simuló el modelo en Dinámica de Sistemas para encontrar los valores de las variables R_1' y R_2' en el tiempo $t=25$. La Tabla A- 2, muestra los valores encontrados en el primer grupo. Una vez terminado este cálculo,

se varió el parámetro LUR del valor mínimo a su valor original y se procedió nuevamente con el cálculo de R1 Y R2. La Tabla A- 3, presenta los valores hallados. Por último, se varía nuevamente el parámetro LUR, al valor máximo y se calcula los valores de las variables. La

Tabla A- 4, se exponen los valores arrojados por la simulación.

Tabla A- 1: Valores utilizados en el análisis de sensibilidad.

	Original	Mínimo	Máximo
R1	4,E+08	2,E+08	6,E+08
R2	73000	36000	110000
LUR (Land Use Rate)	0,045	0,001	0,99
WIR (Water Input Rate)	0,25	0,05	0,45

Tabla A- 2: Valores de r1 y r2 con LUR en mínimo

SEMILLAS			RESULTADO EN AÑO 25 - CAJA 1		
R1	R2	WIR	R1	R2	LUR
400000000	73000	0,45	400000000	74200	0,001
400000000	73000	0,25	2930000	73400	
400000000	73000	0,05	25800	73200	
400000000	36000	0,45	400000000	38000	
400000000	36000	0,25	2930000	37200	
400000000	36000	0,05	25800	37100	
400000000	110000	0,45	400000000	110000	
400000000	110000	0,25	2930000	109000	
400000000	110000	0,05	25800	109000	
200000000	73000	0,45	200000000	73700	
200000000	73000	0,25	1470000	73200	
200000000	73000	0,05	17700	73100	
200000000	36000	0,45	200000000	37600	
200000000	36000	0,25	1470000	37100	
200000000	36000	0,05	17700	37000	
200000000	110000	0,45	200000000	110000	
200000000	110000	0,25	1470000	109000	
200000000	110000	0,05	17700	109000	
600000000	73000	0,45	600000000	73400	0,001
600000000	73000	0,25	4380000	73400	
600000000	73000	0,05	33900	73200	
600000000	36000	0,45	600000000	37300	

Tabla A- 2: **Continuación**

SEMILLAS			RESULTADO EN AÑO 25 - CAJA 1		
R1	R2	WIR	R1	R2	LUR
600000000	36000	0,25	4380000	37300	
600000000	36000	0,05	33900	37100	
600000000	110000	0,45	600000000	110000	
600000000	110000	0,25	4380000	110000	
600000000	110000	0,05	33900	109000	

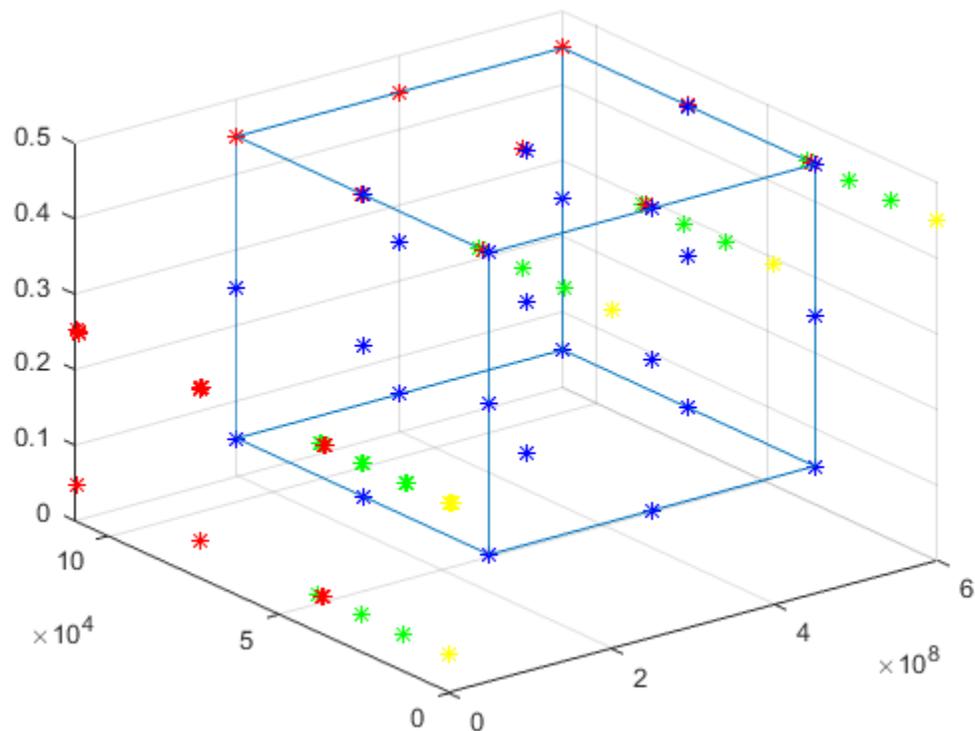
Tabla A- 3: **Valores de r1 y r2 con el parámetro LUR original**

SEMILLAS			RESULTADO EN AÑO 25 - CAJA 2		
R1	R2	WIR	R1	R2	LUR
400000000	73000	0,45	400000000	26500	0,045
400000000	73000	0,25	2930000	25900	
400000000	73000	0,05	25800	25800	
400000000	36000	0,45	400000000	14100	
400000000	36000	0,25	2930000	13400	
400000000	36000	0,05	25800	13300	
400000000	110000	0,45	400000000	39000	
400000000	110000	0,25	2930000	38400	
400000000	110000	0,05	25800	38300	
200000000	73000	0,45	200000000	26200	
200000000	73000	0,25	1470000	25800	
200000000	73000	0,05	17700	25800	
200000000	36000	0,45	200000000	13700	
200000000	36000	0,25	1470000	13300	
200000000	36000	0,05	17700	13300	
200000000	110000	0,45	200000000	38700	
200000000	110000	0,25	1470000	38300	
200000000	110000	0,05	17700	38300	
600000000	73000	0,45	600000000	26000	0,045
600000000	73000	0,25	4380000	25900	
600000000	73000	0,05	33900	25800	
600000000	36000	0,45	600000000	13500	
600000000	36000	0,25	4380000	13400	
600000000	36000	0,05	15300	13300	
600000000	110000	0,45	600000000	38500	
600000000	110000	0,25	4380000	38400	
600000000	110000	0,05	33900	38300	

Tabla A- 4: Valores de r1 y r2 con el parámetro LUR en el máximo

SEMILLAS			RESULTADO EN AÑO 25 - CAJA 3		
R1	R2	WIR	R1	R2	LUR
400000000	73000	0,45	400000000	110	0,99
400000000	73000	0,25	2910000	92,6	
400000000	73000	0,05	19600	92,6	
400000000	36000	0,45	400000000	110	
400000000	36000	0,25	2910000	92,6	
400000000	36000	0,05	19600	92,6	
400000000	110000	0,45	400000000	110	
400000000	110000	0,25	2910000	92,6	
400000000	110000	0,05	19600	92,6	
200000000	73000	0,45	200000000	92,6	0,99
200000000	73000	0,25	1460000	92,6	
200000000	73000	0,05	11500	92,6	
200000000	36000	0,45	200000000	92,6	
200000000	36000	0,25	1460000	92,6	
200000000	36000	0,05	11500	92,6	
200000000	110000	0,45	200000000	92,6	
200000000	110000	0,25	1460000	92,6	
200000000	110000	0,05	11500	92,6	
600000000	73000	0,45	600000000	25,9	0,99
600000000	73000	0,25	4370000	92,6	
600000000	73000	0,05	27700	92,6	
600000000	36000	0,45	600000000	25,9	
600000000	36000	0,25	4370000	92,6	
600000000	36000	0,05	27700	92,6	
600000000	110000	0,45	600000000	25,9	
600000000	110000	0,25	4370000	92,6	
600000000	110000	0,05	27700	92,6	

Mediante el software Matlab, se graficó, en el espacio tridimensional, todas las triadas de puntos correspondientes, tanto los valores iniciales (semillas), como a los valores hallados en las diferentes simulaciones realizadas con el software Vensim. La Figura A- 1, muestra la ubicación en el plano de todas las soluciones encontradas para el sistema propuesto.

Figura A- 1: Solución del sistema mediante el análisis de contractividad

En la gráfica anterior se puede apreciar en azul el espacio de estados en el cual se encuentran las soluciones válidas al modelo, es decir aquellas que responden a la hipótesis dinámica propuesta. Por otra parte, en la gráfica se evidencia también aquellas soluciones al modelo que, al hallarse por fuera de espacio, causan inestabilidad del sistema y no corresponden con la hipótesis inicial.

En conclusión, el análisis de contractividad realizado, mediante la evaluación de casos extremos, permite concluir que el modelo es válido en los siguientes rangos de los parámetros WIR (Water Input Rate) y LUR (Land Use Rate).

$$WIR \leq 0.45$$

$$LUR \leq 0.045$$

B. Anexo: Registro audiovisual Taller Participativo vereda El Pesebre

En el siguiente link de Google Drive se encuentra el registro audiovisual completo de las actividades en el marco del Taller Participativo llevado a cabo con la comunidad de la vereda El Pesebre, municipio de Tame, departamento de Arauca en Colombia.

<https://drive.google.com/drive/folders/1uVf-XpXOI4Ri-AqW2E0rM1I3av9xfjGS?usp=sharing>

C. Anexo: Registro audiovisual Taller Participativo vereda California

En el siguiente link de Google Drive se encuentra el registro audiovisual completo de las actividades en el marco del Taller Participativo llevado a cabo con la comunidad de la vereda California, municipio de Fresno, departamento de Tolima en Colombia.

<https://drive.google.com/drive/folders/1bgfGoeUIN-ZcU0ytDkl5G5ZlaNvNZCxM?usp=sharing>

Bibliografía

- [1] L. Morales, “LA PAZ Y LA PROTECCIÓN AMBIENTAL EN COLOMBIA: Propuestas para un desarrollo rural sostenible,” *Lorenzo Morales*, p. 36, 2017.
- [2] Colciencias, “Colombia Bio,” *Colciencias*, 2016. [Online]. Available: <http://www.colciencias.gov.co/convocatorias/colombiabiobio>. [Accessed: 02-Sep-2018].
- [3] Gobierno Nacional de COLOMBIA and FARC EP, “Acuerdo Final Para La Terminación Del Conflicto Y La Construcción De Una Paz Estable Y Duradera.” pp. 1–294, 2016.
- [4] J. Gallego Dávila, J. Azcárate, and L. Kørnøvn, “Strategic Environmental Assessment for development programs and sustainability transition in the Colombian post-conflict context,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 74, no. October 2018, pp. 35–42, 2019.
- [5] C. Pahl-Wostl, “The importance of social learning in restoring the multifunctionality of rivers and floodplains,” *Ecol. Soc.*, vol. 11, no. 1, 2006.
- [6] C. Acey, “Managing wickedness in the Niger Delta: Can a new approach to multi-stakeholder governance increase voice and sustainability?,” *Landsc. Urban Plan.*, vol. 154, pp. 102–114, 2016.
- [7] M. Leach, R. Mearns, and I. Scoones, “Environmental entitlements: Dynamics and institutions in community-based natural resource management,” *World Dev.*, vol. 27, no. 2, pp. 225–247, 1999.
- [8] P. F. E. Addison, K. de Bie, and L. Rumpff, “Setting conservation management thresholds using a novel participatory modeling approach,” *Conserv. Biol.*, vol. 29, no. 5, pp. 1411–1422, 2015.
- [9] C. N. Knapp, M. Fernandez-Gimenez, E. Kachergis, and A. Rudeen, “Using Participatory Workshops to Integrate State-and-Transition Models Created With Local Knowledge and Ecological Data,” *Rangel. Ecol. Manag.*, vol. 64, no. 2, pp.

- 158–170, 2011.
- [10] L. Belone *et al.*, “Community-Based Participatory Research Conceptual Model: Community Partner Consultation and Face Validity,” *Qual. Health Res.*, vol. 26, no. 1, pp. 117–35, 2016.
- [11] R. A. . B. Kelly *et al.*, “Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 47, no. November 2013, pp. 159–181, 2013.
- [12] T. S. Buchholz, T. A. Volk, and V. A. Luzadis, “A participatory systems approach to modeling social, economic, and ecological components of bioenergy,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 12, pp. 6084–6094, 2007.
- [13] J. N. Sanchirico, M. R. Springborn, M. W. Schwartz, and A. N. Doerr, “Investment and the policy process in conservation monitoring,” *Conserv. Biol.*, vol. 28, no. 2, pp. 361–371, 2014.
- [14] A. Suarez, P. Arias-Arévalo, E. Martinez-Mera, J. C. Granobles-Torres, and T. Enríquez-Acevedo, “Involving victim population in environmentally sustainable strategies: An analysis for post-conflict Colombia,” *Sci. Total Environ.*, vol. 643, pp. 1223–1231, 2018.
- [15] J. a M. Vennix, “Group Model Building: Tackling Messy Problems,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 15, no. 4, pp. 379–401, 1999.
- [16] “Gobernanza del agua | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.” [Online]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/gobernanza-del-agua>. [Accessed: 06-Mar-2017].
- [17] M. Fundingsland Tetlow and M. Hanusch, “Strategic environmental assessment: the state of the art,” *Impact Assess. Proj. Apprais.*, vol. 30, no. 1, pp. 15–24, 2012.
- [18] P. Antunes *et al.*, “Participatory decision making for sustainable development - The use of mediated modelling techniques,” *Land use policy*, vol. 18, no. 6, pp. 44–52, 2008.
- [19] E. Á. Vanegas and D. P. Calderón, “Entornos y riesgos de las Zonas Veredales y los Puntos Transitorios de Normalización,” Bogotá, 2017.
- [20] F. E. Gobierno de Colombia, “Acuerdo final para la terminación del conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera.” p. 297, 2016.
- [21] S. R. Arnstein, “Journal of the American Planning Association A Ladder Of Citizen Participation,” *J. Am. Inst. Planners*, vol. 35, no. 4, pp. 216–224, 1969.
- [22] Gobierno Nacional de Colombia, “Plan Marco De Implementación Del Acuerdo

- Final Para La Terminación Del Conflicto Y La Construcción De Una Paz Estable Y Duradera,” p. 301, 2017.
- [23] Unidad para las Víctimas, “Reparación Colectiva | Unidad para las Víctimas,” 2016. [Online]. Available: <http://www.unidadvictimas.gov.co/es/reparación-colectiva/119>. [Accessed: 02-Sep-2018].
- [24] J. A. Castrillón Gómez and J. Valencia Calvo, “Propuesta de modelo en dinámica de sistemas para toma de decisiones en selección de proyectos verdes,” *Rev. Mutis*, vol. 8, no. 2, pp. 84–94, 2018.
- [25] P. J. O’Brien, “Participation and Sustainable Development in Colombia,” *Eur. Rev. Lat. Am. Caribb. Stud. / Rev. Eur. Estud. Latinoam. y del Caribe*, vol. 59, pp. 7–35, 1995.
- [26] L. Bonilla-Mejía and I. Higuera-Mendieta, “Protected Areas under Weak Institutions: Evidence from Colombia,” *World Dev.*, vol. 122, pp. 585–596, 2019.
- [27] C. McIlwaine, *Encounters with Violence in Latin America*. 2004.
- [28] C. McIlwaine and C. Moser, “Poverty, violence and livelihood security in urban Colombia and Guatemala,” *Prog. Dev. Stud.*, vol. 3, no. 2, pp. 113–130, 2003.
- [29] G. Olivar-Tost, J. Valencia-Calvo, and J. A. Castrillón-Gómez, “Towards decision-making for the assessment and prioritization of green projects: An integration between system dynamics and participatory modeling,” *Sustain.*, vol. 12, no. 24, pp. 1–23, 2020.
- [30] M. Dionnet *et al.*, “Improving participatory processes through collective simulation: Use of a community of practice,” *Ecol. Soc.*, vol. 18, no. 1, 2013.
- [31] Y. von Korff, K. A. Daniell, S. Moellenkamp, P. Bots, and R. M. Bijlsma, “Implementing participatory water management: Recent advances in theory, practice, and evaluation,” *Ecol. Soc.*, vol. 17, no. 1, 2012.
- [32] A. Bah, “A Participatory Modeling Process to Capture Indigenous Ways of Adaptability to Uncertainty : Outputs From an Experiment in West African Drylands COULD BE USEFUL FOR THE RESILIENCE,” vol. 18, no. 4, 2013.
- [33] H. Squires and O. Renn, “Can participatory modelling support social learning in marine fisheries? Reflections from the invest in Fish South West project,” *Environ. Policy Gov.*, vol. 21, no. 6, pp. 403–416, 2011.
- [34] K. A. Waylen *et al.*, “Can scenario-planning support community-based natural resource management? Experiences from three countries in latin america,” *Ecol.*

- Soc., vol. 20, no. 4, 2015.
- [35] C. J. M. Hewett, P. F. Quinn, and M. E. Wilkinson, "The decision support matrix (DSM) approach to reducing environmental risk in farmed landscapes," *Agric. Water Manag.*, vol. 172, pp. 74–82, 2016.
- [36] Y. Ju and A. Wang, "Projection method for multiple criteria group decision making with incomplete weight information in linguistic setting," *Appl. Math. Model.*, vol. 37, no. 20–21, pp. 9031–9040, Nov. 2013.
- [37] F. Gourmelon, F. Chlous-Ducharme, C. Kerbiriou, M. Rouan, and F. Bioret, "Role-playing game developed from a modelling process: A relevant participatory tool for sustainable development? A co-construction experiment in an insular biosphere reserve," *Land use policy*, vol. 32, pp. 96–107, 2013.
- [38] C. M. Robb, *¿Pueden los pobres influenciar las políticas? : evaluaciones participativas de la pobreza en el mundo en desarrollo*, Segunda Ed., no. August. Alfaomega, 2002.
- [39] R. Chambers, "Participatory rural appraisal (PRA): Analysis of experience," *World Dev.*, vol. 22, no. 9, pp. 1253–1268, 1994.
- [40] R. Chambers, "Participatory rural appraisal (PRA): Challenges, potentials and paradigm," *World Dev.*, vol. 22, no. 10, pp. 1437–1454, 1994.
- [41] L. M. Webber and R. L. Ison, "Participatory Rural Appraisal Design: Conceptual and process issues," *Agric. Syst.*, vol. 47, no. 1, pp. 107–131, 1995.
- [42] T. Binns, T. Hill, and E. Nel, "Learning from the people: participatory rural appraisal, geography and rural development in the 'new' South Africa," *Appl. Geogr.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–9, 1997.
- [43] R. Loader and L. Amartya, "Participatory Rural Appraisal: Extending the research methods base," *Agric. Syst.*, vol. 62, no. 2, pp. 73–85, 1999.
- [44] M. E. Brown, "Assessing natural resource management challenges in senegal using data from participatory rural appraisals and remote sensing," *World Dev.*, vol. 34, no. 4, pp. 751–767, 2006.
- [45] R. S. J. Ling, "The PRA tools for qualitative rural tourism research," *Syst. Eng. Procedia*, vol. 1, pp. 392–398, 2011.
- [46] C. Solano Lara, A. Fernández Crispín, and M. C. López Téllez, "Participatory rural appraisal as an educational tool to empower sustainable community processes," *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 4254–4262, 2018.
- [47] M. E. Menconi, D. Grohmann, and C. Mancinelli, "European farmers and

- participatory rural appraisal: A systematic literature review on experiences to optimize rural development,” *Land use policy*, vol. 60, no. 2017, pp. 1–11, 2017.
- [48] L. Poncela, A. Vieyra, and Y. Méndez-Lemus, “Procesos participativos intramunicipales como pasos hacia la gobernanza local en territorios periurbanos. La experiencia en el municipio de Tarímbaro, Michoacán, México,” *J. Lat. Am. Geogr.*, vol. 14, no. 2, pp. 129–157, 2015.
- [49] A. Galindo Montero, J. Pérez Montiel, and R. Rojano Alvarado, “Medidas de adaptación al cambio climático en una comunidad indígena del norte de Colombia,” *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica*, vol. 20, no. 1, pp. 187–197, 2017.
- [50] G. Castelli, E. Bresci, F. Castelli, E. Y. Hagos, and A. Mehari, “A participatory design approach for modernization of spate irrigation systems,” *Agric. Water Manag.*, vol. 210, no. October 2017, pp. 286–295, 2018.
- [51] B. Häslér *et al.*, “Using participatory rural appraisal to investigate food production, nutrition and safety in the Tanzanian dairy value chain,” *Glob. Food Sec.*, vol. 20, no. January, pp. 122–131, 2019.
- [52] K. A. Johnson *et al.*, “Using participatory scenarios to stimulate social learning for collaborative sustainable development,” *Ecol. Soc.*, vol. 17, no. 2, 2012.
- [53] V. R. Mallampalli *et al.*, “Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 82, pp. 7–20, 2016.
- [54] S. Henly-Shepard, S. A. Gray, and L. J. Cox, “The use of participatory modeling to promote social learning and facilitate community disaster planning,” *Environ. Sci. Policy*, vol. 45, pp. 109–122, 2015.
- [55] M. S. Reed, “Stakeholder participation for environmental management: A literature review,” *Biol. Conserv.*, vol. 141, no. 10, pp. 2417–2431, 2008.
- [56] L. C. Stringer, L. Fleskens, M. S. Reed, J. de Vente, and M. Zengin, “Participatory Evaluation of Monitoring and Modeling of Sustainable Land Management Technologies in Areas Prone to Land Degradation,” *Environ. Manage.*, vol. 54, no. 5, pp. 1022–1042, 2013.
- [57] J. Sterman, *Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill, 2000.
- [58] G. Finnveden *et al.*, “Recent developments in Life Cycle Assessment,” *J. Environ.*

- Manage.*, vol. 91, no. 1, pp. 1–21, 2009.
- [59] J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*. The MIT Press: Cambridge Massachusetts, 1961.
- [60] J. W. Forrester, “Lessons from system dynamics modeling,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 3, no. 2, pp. 136–149, 1987.
- [61] J. D. Tàbara and C. Pahl-wostl, “Sustainability Learning in Natural Resource Use and Management,” *Ecol. Soc.*, vol. 12, no. 2, pp. 1–15, 2007.
- [62] P. Mazzega *et al.*, “Critical multi-level governance issues of integrated modelling: An example of low-water management in the adour-garonne basin (France),” *J. Hydrol.*, vol. 519, no. PC, pp. 2515–2526, 2014.
- [63] M. Hurlbert and J. Gupta, “The split ladder of participation: A diagnostic, strategic, and evaluation tool to assess when participation is necessary,” *Environ. Sci. Policy*, vol. 50, pp. 100–113, 2015.
- [64] K. K. Davies, K. T. Fisher, M. E. Dickson, S. F. Thrush, and R. Le Heron, “Improving ecosystem service frameworks to address wicked problems,” *Ecol. Soc.*, vol. 20, no. 2, 2015.
- [65] L. M. Garcia Corrales, H. Avila Rangel, and R. Gutierrez Llantoy, “Land-use and socioeconomic changes related to armed conflicts: A Colombian regional case study,” *Environ. Sci. Policy*, vol. 97, no. December 2018, pp. 116–124, 2019.
- [66] D. M. Landholm, P. Pradhan, and J. P. Kropp, “Diverging forest land use dynamics induced by armed conflict across the tropics,” *Glob. Environ. Chang.*, vol. 56, no. February 2018, pp. 86–94, 2019.
- [67] M. A. Gonzalez-Salazar, M. Venturini, W. R. Pogonietz, M. Finkenrath, and M. R. Leal, “Combining an accelerated deployment of bioenergy and land use strategies: Review and insights for a post-conflict scenario in Colombia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. June 2016, pp. 159–177, 2017.
- [68] P. Boateng, Z. Chen, and S. O. Ogunlana, “ScienceDirect An Analytical Network Process model for risks prioritisation in megaprojects,” *JPMA*, vol. 33, no. 8, pp. 1795–1811, 2015.
- [69] J. S. Guest, S. J. Skerlos, G. T. Daigger, J. R. E. Corbett, and N. G. Love, “The use of qualitative system dynamics to identify sustainability characteristics of decentralized wastewater management alternatives,” *Water Sci. Technol.*, vol. 61, no. 6, pp. 1637–1644, 2010.
- [70] S. El Sawah *et al.*, “Using system dynamics for environmental modelling: Lessons

- learnt from six case studies,” *Int. Environ. Model. Softw. Soc.*, pp. 1–8, 2012.
- [71] J. Aracil and F. Gordillo, *Dinámica de sistemas*. Alianza Editorial, 1997.
- [72] J. Aracil, *Introducción a la dinámica de sistemas*. 1983.
- [73] O. Sahin, R. A. Stewart, and M. G. Porter, “Water security through scarcity pricing and reverse osmosis: A system dynamics approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 88, pp. 160–171, 2015.
- [74] J. Valencia-Calvo, C. J. Franco-Cardona, G. Olivar-Tost, and I. Dyner-Rezonzew, “Enfoque metodológico para el estudio y representación de comportamientos complejos en mercados de electricidad,” *Ing. y Cienc.*, vol. 12, no. 24, pp. 195–220, 2016.
- [75] J. M. Redondo, G. Olivar, D. Ibarra-Vega, and I. Dyner, “Modeling for the regional integration of electricity markets,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 43, pp. 100–113, 2018.
- [76] D. W. Ibarra Vega and J. M. Redondo, “Dinámica De Sistemas, Una Herramienta Para La Educación Ambiental En Ingeniería,” *Luna Azul*, no. 41, pp. 152–164, Apr. 2015.
- [77] A. Saltelli *et al.*, *Global Sensitivity Analysis The Primer*. 2008.
- [78] A. Saltelli, S. Tarantola, F. Campolongo, and M. Ratto, *Sensitivity Analysis in Diagnostic Modelling: Monte Carlo Filtering and Regionalised Sensitivity Analysis, Bayesian Uncertainty Estimation and Global Sensitivity Analysis*. 2004.
- [79] J. Jouffroy, “Some ancestors of contraction analysis,” *Proc. 44th IEEE Conf. Decis. Control. Eur. Control Conf. CDC-ECC '05*, vol. 2005, pp. 5450–5455, 2005.
- [80] A. Pavlov, A. Pogromsky, N. Van De Wouw, and H. Nijmeijer, “Convergent dynamics, a tribute to Boris Pavlovich Demidovich,” *Syst. Control Lett.*, vol. 52, no. 3–4, pp. 257–261, 2004.
- [81] P. Antunes, R. Santos, and N. Videira, “Participatory decision making for sustainable development - The use of mediated modelling techniques,” *Land use policy*, vol. 23, no. 1, pp. 44–52, 2006.
- [82] M. Siwailam, H. Abdelsalam, and M. Saleh, “Integrated DPSIR-ANP-SD framework for Sustainability Assessment of Water Resources System in Egypt,” vol. 3, no. 3, pp. 1–12, 2019.
- [83] R. Sayyadi and A. Awasthi, “An integrated approach based on system dynamics and ANP for evaluating sustainable transportation policies,” *Int. J. Syst. Sci. Oper.*

- &Logistics*, vol. 0, no. 0, pp. 1–10, 2018.
- [84] S. L. R. Toosi and J. M. V Samani, “Evaluating Water Transfer Projects Using Analytic Network Process (ANP),” *Water Resour. Manag.*, vol. 26, no. 7, pp. 1999–2014, May 2012.
- [85] I. Dikmen, M. T. Birgonul, and B. Ozorhon, “Project Appraisal and Selection Using the Analytic Network Process,” *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 34, no. Mcdm, pp. 786–792, 2007.
- [86] I.-S. Chen, “A combined MCDM model based on DEMATEL and ANP for the selection of airline service quality improvement criteria: A study based on the Taiwanese airline industry,” *J. Air Transp. Manag.*, vol. 57, pp. 7–18, 2016.
- [87] T. L. Saaty and L. G. Vargas, “The Analytic Network Process,” *Decis. Mak. with Anal. Netw. Process*, vol. 95, no. 1, pp. 1–27, 2006.
- [88] T. L. Saaty and L. G. Vargas, “The Analytic Network Process,” *Decis. Mak. with Anal. Netw. Process*, vol. 195, pp. 1–40, 2013.
- [89] T. L. Saaty and L. G. Vargas, *Decision making with the analytic network process. [electronic book]: economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. 2013.
- [90] M. P. Niemira and T. L. Saaty, “An Analytic Network Process model for financial-crisis forecasting,” *Int. J. Forecast.*, vol. 20, no. 4, pp. 573–587, 2004.
- [91] J. Liang and G. Tzeng, “Expert Systems with Applications An integrated MCDM technique combined with DEMATEL for a novel cluster-weighted with ANP method,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 3, pp. 1417–1424, 2011.
- [92] M. Bottero, E. Comino, and V. Riggio, “Environmental Modelling & Software Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 26, no. 10, pp. 1211–1224, 2011.
- [93] Ş. Erdoğan, M. Kapanoglu, and E. Koç, “Evaluating high-tech alternatives by using analytic network process with BOCR and multiactors,” *Eval. Program Plann.*, vol. 28, no. 4, pp. 391–399, 2005.
- [94] C. Garuti and I. Spencer, “Parallels between the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP) and fractal geometry,” *Math. Comput. Model.*, vol. 46, no. 7–8, pp. 926–934, 2007.
- [95] T. L. Saaty, “– Dependence and Feedback in Decision-Making With a Single Network,” vol. 13, no. 2, pp. 129–157, 2004.

- [96] P. Fiala, "AN ANP / DNP ANALYSIS OF ECONOMIC ELEMENTS IN TODAY ' S," vol. 15, no. Jun, pp. 131–140, 2006.
- [97] A. Nieto-Morote and F. Ruz-Vila, "A fuzzy approach to construction project risk assessment," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 220–231, 2011.
- [98] J. Shelton and M. Medina, "Integrated Multiple-Criteria Decision-Making Method to Prioritize Transportation Projects," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2174, pp. 51–57, 2010.
- [99] R. Whitaker, "Validation examples of the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process," *Math. Comput. Model.*, vol. 46, no. 7–8, pp. 840–859, 2007.
- [100] T. L. Saaty, "Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 168, no. 2 SPEC. ISS., pp. 557–570, 2006.
- [101] M. S. Ozdemir and T. L. Saaty, "The unknown in decision making. What to do about it," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 174, no. 1, pp. 349–359, 2006.
- [102] T. L. Saaty, "Decision making with the AHP, Why is the principal eigenvector necessary," vol. 145, pp. 85–91, 2003.
- [103] T. Saaty and L. Vargas, "Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process," ... -Driven Demand Oper. Manag. Model., 2001.
- [104] T. L. Saaty, "How to make a decision: The analytic hierarchy process," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990.
- [105] T. Saaty and L. Vargas, *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. 2012.
- [106] C. Huang, P. Chu, and Y. Chiang, "A fuzzy AHP application in government-sponsored R & D project selection ǒ," vol. 36, pp. 1038–1052, 2008.
- [107] P.-S. Ashofteh, O. Bozorg-Haddad, and H. A. Loáiciga, "Multi-Criteria Environmental Impact Assessment of Alternative Irrigation Networks with an Adopted Matrix-Based Method," *Water Resour. Manag.*, 2016.
- [108] D. J. D. Wijnmalen, "Analysis of benefits, opportunities, costs, and risks (BOCR) with the AHP-ANP: A critical validation," *Math. Comput. Model.*, vol. 46, no. 7–8, pp. 892–905, 2007.
- [109] S. Yin, C. Wang, L. Teng, and Y. M. Hsing, "Application of DEMATEL , ISM , and ANP for key success factor (KSF) complexity analysis in R & D alliance," vol. 7,

- no. 19, pp. 1872–1890, 2012.
- [110] S. P. Santos, V. Belton, and S. Howick, “Adding value to performance measurement by using system dynamics and multicriteria analysis,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 22, no. 11, pp. 1246–1272, 2002.
- [111] A. Sullivan, A. M. York, L. An, S. T. Yabiku, and S. J. Hall, “How does perception at multiple levels influence collective action in the commons? The case of *Mikania micrantha* in Chitwan, Nepal,” *For. Policy Econ.*, vol. 80, pp. 1–10, 2017.
- [112] W. Adams, “Super Decisions.” Creative Decisions Foundation, 2003.
- [113] T. L. Saaty, “Time dependent decision-making ; dynamic priorities in the AHP / ANP : Generalizing from points to functions and from real to complex variables,” vol. 46, pp. 860–891, 2007.
- [114] M. de Lara and L. Doyen, *Sustainable Management of Natural Resources. Mathematical Models and Methods*. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [115] Milenioscuro, “Mapa de localización del departamento de Arauca,” *Wikimedia Commons*, 2012. [Online]. Available: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia_-_Arauca.svg.
- [116] SOGEOCOL, “División Político-Administrativa Departamento de Arauca,” *Atlas de Colombia*, 2002. [Online]. Available: https://www.sogeocol.edu.co/dptos/arauca_05_division.jpg.
- [117] Caribarare, “INDICADORES DE CONTROL SOCIAL DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO, DE LA OFICINA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DEL MUNICIPIO DE TAME, DE ACUERDO CON EL ARTICULO 1.3.4.6 DE LA RESOLUCIÓN CRA 151 DE 2001 AÑO 201,” 2019. [Online]. Available: <https://caribabare.gov.co/esp/wp-content/uploads/2020/04/Indicadores-de-gestión-2019.pdf>.
- [118] Ministerio del Trabajo and PNUD -Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, “Perfil productivo municipio Tame,” 2013. [Online]. Available: https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_municipio_tame.
- [119] Alcaldía de Tame, “Plan basico de ordenamiento territorial Tame,” 2011. [Online]. Available: [http://tame-arauca.gov.co/Transparencia/PBOT/Capítulo 1 Planificación - Libro 3 Diagnóstico - Dimensión Física Biótica.pdf](http://tame-arauca.gov.co/Transparencia/PBOT/Capítulo%201%20Planificación%20-%20Libro%203%20Diagnóstico%20-%20Dimensión%20Física%20Biótica.pdf). [Accessed: 14-Sep-2020].
- [120] F. Fonseca Fino, D. I. Rey Martínez, J. I. González Barrero, and A. M. Parias Durán, *Mercado de Tierras Rurales Productivas En Colombia : Caracterización*,

- Marco Conceptual, Jurídico e Institucional*. Colombia Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá) Instituto de Estudios Urbanos (IEU), 2016.
- [121] Fedegán, “Inventario Ganadero,” 2019. [Online]. Available: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>.
- [122] Gobernación del Tolima, “Tolima en cifras - Vigencia 2020,” 2020. [Online]. Available: <https://www.tolima.gov.co/tolima/cifras-y-estadisticas/tolima-en-cifras#1958-vigencia-2020>. [Accessed: 10-Jun-2021].
- [123] X. Bruña-García and M. F. Marey-Pérez, “Public participation: A need of forest planning,” *IForest*, vol. 7, no. 4, pp. 216–226, 2014.
- [124] B. Romagny and J. Riaux, “Community-based agricultural water management in the light of participative policies: A cross-cultural look at cases in Tunisia and Morocco,” *Hydrol. Sci. J.*, vol. 52, no. 6, pp. 1179–1196, 2007.
- [125] VISION CONSULTORES, “El ABC de los Diagnósticos Sociales DRP,” 2010. [Online]. Available: <https://www.yumpu.com/es/document/read/46077558/abc-del-diagnostico-rapido-participativo>. [Accessed: 01-Feb-2021].
- [126] A. Cornwall and G. Pratt, “The use and abuse of participatory rural appraisal: Reflections from practice,” *Agric. Human Values*, vol. 28, no. 2, pp. 263–272, 2011.
- [127] D. Mosse, “Authority, Gender and Knowledge: Theoretical Reflections on the Practice of Participatory Rural Appraisal,” *Dev. Change*, vol. 25, no. 3, pp. 497–526, 1994.
- [128] M. Expósito, *Diagnóstico Rural Participativo Una guía práctica ISBN Centro Cultural Poveda 2003*. 2013.
- [129] J. A. Castrillon-gomez, G. Olivar-tost, and J. Valencia-calvo, “Systems Dynamics and the Analytical Network Process for the Evaluation and Prioritization of Green Projects : Proposal That Involves Participative Integration,” *Sustainability*, vol. 14, no. 11519, 2022.
- [130] A. F. Hernández Martínez, “Aproximación a la configuración regional de la provincia norte del departamento del Tolima.,” Universidad del Tolima, 2010.
- [131] A. Espinoza, S. Bautista, P. C. Narváez, M. Alfaro, and M. Camargo, “Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: A system dynamics model,” *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 1145–1163, 2017.

- [132] C. Pahl-Wostl, "Participative and Stakeholder-Based Policy Design, Evaluation and Modeling Processes," *Integr. Assess.*, vol. 3, no. 1, pp. 3–14, 2002.
- [133] J. C. Little, E. T. Hester, and C. C. Carey, "Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual Review," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 13, pp. 6830–6845, Jul. 2016.
- [134] A. Zvoleff and L. An, "Analyzing human-landscape interactions: Tools that integrate," *Environ. Manage.*, vol. 53, no. 1, pp. 94–111, 2014.
- [135] F. Cosenz and G. Noto, "Applying System Dynamics Modelling to Strategic Management: A Literature Review," *Syst. Res. Behav. Sci.*, vol. 33, no. 6, pp. 703–741, 2016.