

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: CIENCIAS ECONÓMICAS

TESIS

**Modelo de Planeamiento del Ordenamiento Territorial para la
Provincia de Cajamarca utilizando la Teoría de la Lógica Difusa**

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

Manuel Roberto Azahuanche Oliva

Asesor:

Dr. Nilton Deza Arroyo

Cajamarca, Perú

2018

COPYRIGHT © 2018 by
MANUEL ROBERTO AZAHUANCHE OLIVA
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: CIENCIAS ECONÓMICAS

TESIS

Modelo de Planeamiento del Ordenamiento Territorial para la Provincia de Cajamarca utilizando la Teoría de la Lógica Difusa

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

Manuel Roberto Azahuanche Oliva

Comité Científico

Dr. Nilton Deza Arroyo
Asesor

Dr. Marcial Mendo Velásquez
Miembro del Comité Científico

Dr. Ángel Lozano Cabrera
Miembro del Comité Científico

Dr. Oscar Silva Rodríguez
Miembro del Comité Científico

Cajamarca, Perú

2018



Universidad Nacional de Cajamarca

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERU

PROGRAMA DE DOCTORADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
DOCTORADO EN CIENCIAS
MENCIÓN: CIENCIAS ECONÓMICAS

Siendo las cuatro de la tarde del día lunes quince de octubre del año dos mil dieciocho, reunidos en el auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el Dr. Marcial Mendo Velásquez, Dr. Oscar Silva Rodríguez, Dr. Ángel Lozano Cabrera, como integrantes del jurado titular; y en calidad de Asesor, el Dr. Nilton Deza Arroyo. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **MODELO DE PLANEAMIENTO DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA LA PROVINCIA DE CAJAMARCA UTILIZANDO LA TEORÍA DE LA LÓGICA DIFUSA**; presentada por el M.Cs. **MAUEL ROBERTO AZAHUANCHE OLIVA**, con la finalidad de optar el Grado Académico de **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Económicas, Contables y Administrativas, Mención **CIENCIAS ECONÓMICAS**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBAR**..... con la calificación de **DI. 2.0. 1.0. 1.0. (1.8)**..... la mencionada Tesis; en tal virtud, el M.Cs. **MANUEL ROBERTO AZAHUANCHE OLIVA**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencia Económicas, Contables y Administrativas, Mención **CIENCIAS ECONÓMICAS**.

Siendo las **17:20** horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Oscar Silva Rodríguez
 Jurado Evaluador

.....
Dr. Ángel Lozano Cabrera
 Jurado Evaluador

.....
Dr. Marcial Mendo Velásquez
 Presidente Jurado Evaluador

A:

MI madre Rosa, hermanos Ricardo, Norma e Ingerman, mis sobrinos Gianela, Javier,
Daniela, Alejandra, Mateo, María José y Emilia

Y a la memoria de mi padre

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a la Universidad Nacional de Cajamarca, a sus integrantes, razón de ser de nuestra superación. Al Dr. Nilton Deza por el asesoramiento en el presente trabajo

Deberíamos dedicarnos a desaprender gran parte de lo aprendido y a aprender los
que no se nos ha enseñado

Ronald Laing

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|--------------|
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE GENERAL | viii |
| LISTA DE TABLAS | xii |
| LISTA DE FIGURAS | xiii |
| LISTA DE SIGLAS | xv |
| GLOSARIO | xvi |
| RESUMEN | xvii |
| ABSTRACT | xviii |
| CAPÍTULO I | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Planeamiento del problema | 3 |
| 1.1.1 Contextualización. | 3 |
| 1.1.2 Descripción del problema. | 13 |
| 1.1.3 Formulación del problema. | 15 |
| 1.2 Justificación e importancia | 16 |
| 1.2.1 Justificación científica. | 16 |
| 1.2.2 Justificación técnica - práctica. | 22 |
| 1.2.3 Justificación institucional y personal. | 26 |
| 1.3 Delimitación de la investigación | 27 |
| 1.4 Limitaciones | 28 |
| 1.5 Objetivos | 29 |
| 1.5.1 Objetivo general. | 29 |
| 1.5.2 Objetivos específicos. | 29 |
| CAPÍTULO II | 31 |
| MARCO TEÓRICO | 31 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 31 |
| 2.1.1 A nivel internacional. | 31 |
| 2.1.2 A nivel nacional. | 39 |
| 2.1.3 A nivel local. | 43 |
| 2.2 Marco epistemológico | 45 |
| 2.3 Marco doctrinal de las teorías | 51 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 2.4 | Marco conceptual | 61 |
| 2.4.1 | Lógica Difusa. | 61 |
| 2.4.2 | Conjunto Difuso | 61 |
| 2.4.3 | Función característica de los Conjuntos Difusos | 63 |
| 2.4.4 | Operaciones sobre conjuntos difusos | 63 |
| 2.4.5 | Relaciones difusas | 65 |
| 2.4.6 | Reglas | 68 |
| 2.4.6.1 | Tipos de reglas y proposiciones | 70 |
| 2.4.6.1.1 | Proposiciones cualificadas | 70 |
| 2.4.6.1.2 | Proposiciones cuantificadas | 70 |
| 2.4.6.1.3 | Reglas conflictivas | 70 |
| 2.4.7 | Sistema Basado en Reglas difusas | 71 |
| 2.4.7.1 | Base de reglas difusas | 71 |
| 2.4.7.2 | Tipos de Sistemas basados en Reglas Difusas | 71 |
| 2.4.7.3 | Sistemas Basados en Reglas Difusas (SBRD) tipo Mamdani. | 71 |
| 2.4.8 | Modelo difuso | 72 |
| 2.4.8.1 | El interfaz de fuzzificación | 73 |
| 2.4.8.2 | Base de datos | 73 |
| 2.4.8.3 | La Base de Conocimiento | 73 |
| 2.4.8.4 | Motor de inferencia | 74 |
| 2.4.8.5 | Módulo de defuzzificación | 74 |
| 2.4.9 | Razonamiento | 75 |
| 2.4.10 | Formas de obtención de la base de conocimiento | 75 |
| 2.4.11 | Teoría de sistemas. | 76 |
| 2.4.11.1 | Sistema | 76 |
| 2.4.11.2 | Límite | 76 |
| 2.4.11.3 | Entradas | 77 |
| 2.4.11.4 | Salidas | 78 |
| 2.4.11.5 | Proceso | 78 |
| 2.4.11.6 | Relación | 78 |
| 2.4.12 | Medio ambiente o contexto | 78 |
| 2.4.13 | Variantes del enfoque sistémico | 79 |
| 2.4.14 | Propiedades de los sistemas. | 80 |
| 2.4.14.1 | Transformación | 80 |
| 2.4.14.2 | Equifinalidad | 81 |
| 2.4.14.3 | Retroalimentación | 81 |
| 2.4.14.4 | Control | 82 |
| 2.4.14.5 | Jerarquía | 82 |
| 2.4.14.6 | Sinergia | 82 |
| 2.4.15 | Los sistemas complejos | 83 |
| 2.4.16 | El pensamiento complejo | 84 |
| 2.4.17 | Dinámica de los Sistemas Complejos | 84 |
| 2.4.18 | Estados de los sistemas complejos. | 85 |
| 2.4.18.1 | Estados estacionarios | 85 |
| 2.4.18.2 | Estabilidad e Inestabilidad de un sistema | 86 |
| 2.4.18.3 | Vulnerabilidad | 87 |
| 2.4.18.4 | La resiliencia | 88 |
| 2.4.19 | Los sistemas disipativos | 88 |
| 2.4.20 | El universo estratificado | 88 |

| | |
|---|------------|
| 2.4.21 El Universo no-lineal | 89 |
| 2.4.22 Escala de fenómenos | 89 |
| 2.4.23 El equilibrio dinámico de sistemas abiertos | 90 |
| 2.4.24 Territorio | 90 |
| 2.4.25 Ordenación territorial (OT). | 91 |
| 2.4.26 Sistema urbano | 91 |
| 2.4.27 Componentes del sistema urbano | 91 |
| 2.4.28 Componentes de un sistema de asentamiento humano | 91 |
| 2.4.29 Las Ciudades | 92 |
| 2.4.30 Urbanización | 92 |
| 2.4.31 Subsistema natural | 93 |
| 2.4.32 Ecosistema | 93 |
| 2.4.33 Subsistema social | 94 |
| 2.4.34 Sistema Tecnológico | 95 |
| 2.4.35 Sostenibilidad | 95 |
| 2.4.38 Prevención | 95 |
| 2.4.39 Prospectiva y escenarios | 96 |
| 2.5 Definición de términos básicos | 96 |
| CAPÍTULO III | 98 |
| PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES | 98 |
| 3.1 Hipótesis | 98 |
| 3.1.1 Hipótesis general. | 98 |
| 3.1.2 Hipótesis específicas. | 98 |
| 3.2 Variables | 99 |
| 3.3 Operacionalización de los componentes de la hipótesis | 100 |
| CAPITULO IV | 108 |
| MARCO METODOLÓGICO | 108 |
| 4.1 Ubicación geográfica | 110 |
| 4.2 Diseño de la investigación | 111 |
| 4.3 Método de Investigación | 112 |
| 4.4 Población, muestra y unidades de análisis | 114 |
| 4.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de información | 115 |
| 4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información | 116 |
| 4.7 Equipos, materiales, insumos | 118 |
| 4.8 Matriz de consistencia metodológica | 118 |
| CAPITULO V | 121 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 121 |

| | | |
|--|---|------------|
| 5.1 | Presentación de resultados | 121 |
| 5.2 | Análisis, interpretación y discusión de resultados | 160 |
| 5.3 | Contrastación de la hipótesis | 164 |
| PROPUESTA DEL MODELO DE PLANEAMIENTO DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA LA PROVINCIA DE CAJAMARCA UTILIZANDO LA TEORÍA DE LA LÓGICA DIFUSA | | 166 |
| 6.1 | Modelo propuesto para el planeamiento del ordenamiento territorial para la provincia de Cajamarca usando la Teoría de la Lógica Difusa. | 166 |
| 6.2 | Beneficios que aporta la propuesta | 176 |
| CONCLUSIONES | | 178 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 179 |
| ANEXOS | | 187 |
| | Anexo 01: Indicadores sociales del departamento de Cajamarca | 188 |
| | Anexo 02: Mapas de América, sud América, Perú, Cajamarca e imágenes del distrito de Cajamarca. | 189 |
| | Anexo 03: Mapa político del departamento de Cajamarca. | 190 |
| | Anexo 04: Mapa político de la provincia de Cajamarca | 191 |
| | Anexo 05: Arquitectura del sistema de datos y conocimiento. | 192 |
| | Anexo 06: Matriz de estructuras complejas | 193 |
| | Anexo 07: Base legal. | 194 |
| APÉNDICES | | 196 |
| | Apéndice 01: Motor de inferencia | 196 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabla 01: | Ubicación de pobreza de los distritos de Cajamarca a nivel nacional y departamental..... | 5 |
| Tabla 02: | Programación Multianual de Inversiones 2016 – 2018 de la Municipalidad Provincial de Cajamarca..... | 8 |
| Tabla 03: | Inversión Estratégica y Concertada 2016 – 2018 de la Municipalidad Provincial de Cajamarca..... | 9 |
| Tabla 04: | Población por distrito de la Provincia de Cajamarca..... | 115 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 1: | Nivel de pobreza por distrito de la provincia de Cajamarca..... | 5 |
| Figura 2: | Inversión ejecutada por función 2006 – 2010..... | 8 |
| Figura 3: | Programación multianual de inversiones 2016 - 2018..... | 9 |
| Figura 4: | Inversión estratégica y concertada 2016 - 2018..... | 10 |
| Figura 5: | Inversión Privada y Publica en Perú 2003 - 2015. | 10 |
| Figura 6: | El proceso de gestión ambiental | 14 |
| Figura 7: | Cadena de valor. Presupuesto y Gestión por Resultados..... | 26 |
| Figura 8: | Pilares y Ejes de Modernización de la Gestión Pública..... | 27 |
| Figura 9: | Indicadores para la Evaluación de la Vulnerabilidad de un Sistema Urbano..... | 32 |
| Figura 10: | Técnicas de Inteligencia Artificial utilizando la lógica difusa en aplicaciones de modelado, monitorización y control..... | 36 |
| Figura 11: | Epistemología del siglo XX. La matriz diacrónica hasta 1970..... | 46 |
| Figura 12: | La epistemología en los últimos 16 años – Las Áreas problemáticas..... | 46 |
| Figura 13: | Aspectos Epistemológicos de los Paradigmas de la Ciencia..... | 52 |
| Figura 14: | Aspectos Ontológicos de los Paradigmas de la Ciencia..... | 53 |
| Figura 15: | Aspectos Axiológicos de los Paradigmas de la Ciencia | 53 |
| Figura 16: | Sustentos Teóricos de los Paradigmas de la Ciencia..... | 54 |
| Figura 17: | Funciones de Membresía..... | 62 |
| Figura 18: | Funciones de pertenencia implementados en el Matlab..... | 63 |
| Figura 19: | Unión de conjuntos difusos..... | 64 |
| Figura 20: | Intersección de Conjuntos Difusos..... | 64 |
| Figura 21: | Complemento de Conjuntos Difusos..... | 65 |
| Figura 22: | Relaciones difusas..... | 67 |
| Figura 23: | T-Conorma Máximo o Unión estándar..... | 68 |
| Figura 24: | Base de reglas de un SBRD | 71 |
| Figura 25: | Modelo Difuso..... | 73 |
| Figura 26: | Clasificación de la Teoría de Sistema..... | 80 |
| Figura 27: | Operacionalización de los componentes de la hipótesis..... | 101 |
| Figura 28: | Los Paradigmas de la Ciencia y La Finalidad de la Investigación..... | 109 |
| Figura 29: | Los Paradigmas de la Ciencia y Los Criterios de Calidad..... | 109 |
| Figura 30: | Los Paradigmas de la Ciencia – Metodologías..... | 110 |
| Figura 31: | Técnicas, instrumentos y estrategias..... | 116 |
| Figura 32: | Técnicas e instrumentos de recolección de datos... .. | 116 |
| Figura 33: | Equipos y materiales..... | 118 |
| Figura 34: | Matriz de consistencia metodológica..... | 119 |
| Figura 35: | Identificación de actores para desarrollo del planeamiento de los distritos de: Cajamarca, Magdalena y Chetilla..... | 123 |
| Figura 36: | Diagrama Forrester, de parte metaproceto del sistema de estudio..... | 127 |
| Figura 37: | Módulo de construcción del motor de inferencia y base de conocimientos..... | 129 |
| Figura 38: | Flow chart of the proposed methodology..... | 130 |
| Figura 39: | Esquema de inferencia difusa | 131 |
| Figura 40: | Definición de las variables de entrada y salida..... | 132 |
| Figura 41: | Etiquetas para los factores de cambio del distrito de Cajamarca..... | 133 |
| Figura 42: | Etiquetas para los factores de cambio del distrito de Magdalena..... | 135 |
| Figura 43: | Etiquetas para los factores de cambio del distrito de Chetilla..... | 137 |
| Figura 44: | Definición de dominios a las etiquetas de las variables de entrada..... | 139 |
| Figura 45: | Definición de dominios a las etiquetas de las variables de salida..... | 139 |
| Figura 46: | Establecimiento de las reglas difusas..... | 140 |
| Figura 47: | Superficie de las variables erosión y actividad hidrogeológica..... | 141 |
| Figura 48: | Dinámica entre las variables de entrada y las variables de salida del modelo difuso..... | 142 |
| Figura 49: | Diagrama de Forrester de la dinámica del Sub sistema crecimiento poblacional del distrito de Cajamarca (A)..... | 146 |
| Figura 50: | Diagrama de Forrester de la dinámica del Subsistema crecimiento poblacional del distrito de Cajamarca (B)..... | 147 |
| Figura 51: | Evolución de los pastos cultivados en el distrito de Cajamarca, proyección 2015 – 2025..... | 148 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 52: | Evolución de la población residente en el distrito de Cajamarca, proyección (2015 – 2025)..... | 149 |
| Figura 53: | Evolución de las construcciones ilegales de viviendas en el distrito de Cajamarca (2015 – 2025)..... | 150 |
| Figura 54: | Hipótesis propuestas y los estados de la ciudad de Cajamarca..... | 151 |
| Figura 55: | Resultados de grados de pertenencia de los factores de cambio para los distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla..... | 153 |
| Figura 56: | Indicadores de vulnerabilidad..... | 160 |
| Figura 57: | Contrastación de la hipótesis general..... | 163 |
| Figura 58: | Contrastación de Sub hipótesis 1 (H1)..... | 165 |
| Figura 59: | Contrastación de Sub hipótesis 2 (H2)..... | 165 |
| Figura 60: | Contrastación de Sub hipótesis 3 (H3)..... | 165 |
| Figura 61: | Flujograma del Modelo Propuesto..... | 167 |
| Figura 62: | Representación genérica de un sistema..... | 168 |
| Figura 63: | Modelo de gestión fuzzy | 171 |
| Figura 64: | Propuesta sobre la composición de las hipótesis..... | 173 |
| Figura 65: | Niveles de los Procesos y proyectos | 174 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|---|
| AECID: | Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. |
| CASM: | Gestor de Apoyo de Sensibilización al Contexto. |
| COSUDE: | Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. |
| CRSN: | Capacidad de respuesta del subsistema natural |
| CRSS: | Capacidad de respuesta del sistema social |
| CRST: | Capacidad de respuesta del sistema tecnológico |
| DGPI: | Dirección General de Proyectos de Inversión. |
| ECE: | Evaluación censal de estudiantes. |
| ESN: | Expansión del subsistema natural. |
| ESS: | Exposición del subsistema social. |
| EST: | Exposición del subsistema tecnológico. |
| FIS: | Fuzzy Interference System. |
| FSN: | Fragilidad del subsistema natural. |
| FSS: | Fragilidad del subsistema social. |
| FST: | Fragilidad del subsistema tecnológico. |
| GIZ: | Cooperación Internacional Alemana. |
| INEI: | Instituto Nacional de Estadística e Informática. |
| MEF: | Ministerio de Economía y Finanzas. |
| MPC: | Municipalidad Provincial de Cajamarca. |
| NBI: | Necesidades básicas insatisfechas. |
| OLAP: | Procesos Analíticos en Línea. |
| ONG: | Organismo no Gubernamental. |
| PIP: | Proyecto de Inversión Pública. |
| POT: | Plan de Ordenamiento Territorial. |
| SBRD: | Sistemas Basados en Reglas Difusas. |
| SBRD: | Sistema Basado en Reglas difusas. |
| SIAF: | Sistema de Administración Financiera. |
| TGS: | Teoría General de Sistemas. |
| TIC's: | Tecnologías de información y comunicaciones. |
| VSN: | Vulnerabilidad del sistema natural. |
| VSS: | Vulnerabilidad del sistema social. |
| VST: | Vulnerabilidad del sistema tecnológico. |
| VSU: | Vulnerabilidad del sistema urbano. |
| ZEE: | Zona Económica Ecológica. |

GLOSARIO

Lógica difusa.- “Lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión. Es una lógica multivaluada que permite valores intermedios para poder definir evaluaciones entre sí/no, verdadero/falso, negro/blanco, caliente/frío” (Klir y Yuan (1995).

Modelo. “El modelo es un objeto que representa a otro. Es un medio para algo y no un fin en sí. Sirve aquí y ahora para resolver un problema en concreto, que ha motivado su construcción”. (Aracil & Gordillo, 1995).

Planeamiento en incertidumbre.- “Se trata... de identificar y definir un conjunto encadenado de decisiones que debieran llevar hacia un futuro deseado,.... Dicho estado futuro es el “objetivo” ” (Smolje, 2010).

Prospectiva y escenarios.- “La Prospectiva se refiere a predecir, desde el presente, los futuros posibles de las variables, componentes o sistema al que se aplica, a representarlos en modelos y a orientar a los planificadores sobre la trayectoria a seguir para avanzar hacia los que se consideran deseables” Domingo Gómez (2013).

Ordenamiento territorial.- “Conducción planificada del sistema territorial, la cual se hace operativa a través de la formulación y materialización de un conjunto de planes” (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013, p. 107).

Sistemas Complejos.- “Son sistemas heterogéneos abiertos, cuyo estudio requiere una combinación de análisis sincrónicos y diacrónicos: los primeros para determinar las propiedades estructurales del sistema en un período dado de tiempo, y los segundos para identificar los procesos que condujeron a esa forma particular de organización” (García, 2006).

RESUMEN

Antecedentes: La provincia de Cajamarca, ubicada al norte del Perú, conocida por su valor histórico, potencia de recursos naturales, en los sectores agropecuario, forestal, turístico y minero, entre otros; estancado en sus indicadores más importantes de desarrollo económico, presenta falencias de un buen proceso de planeamiento del uso del territorio en sus diferentes niveles de gobierno, al haberse convertido este en un proceso complejo de solución y lleno de intereses particulares. **Métodos:** Se utiliza los planteados por los sistemas complejos y la lógica difusa, métodos exitosos para modelar sistemas expertos dinámicos, en base a la gestión del conocimiento, permitiendo modelar la dinámica del sistema caracterizado de multivariado. **Resultados:** Se presenta un modelo para el planeamiento del ordenamiento territorial para la provincia de Cajamarca dinámico, con características de inteligente (razonamiento aproximado). El modelo integra los indicadores de exposiciones a la vulnerabilidad, fragilidad, capacidad de respuesta del sistema medio ambiental y los factores de cambio, permitiendo priorizar proyectos de intervención, que tienen como objetivo orientar la inversión, gestión y el desarrollo de la provincia de Cajamarca. **Conclusión:** El modelo propuesto validado con procesos de simulación, demuestra que, con una adecuada gestión e implementación del planeamiento en el uso del territorio es posible: 1) Detener y, revertir las tendencias que han significado el deterioro progresivo del sistema socio-ambiental y 2) Ser capaz de reorientar el sistema productivo para conducirlo a un desarrollo sustentable y sostenible.

Palabras Clave: Sistemas complejos, dinámica de sistemas, inteligencia artificial, teoría de la lógica difusa, base de conocimientos, ordenamiento territorial.

ABSTRACT

Background: The province of Cajamarca, located in the north of Peru, known for its historical value, potency of natural resources, in the agricultural, forestry, tourism and mining sectors, among others; stopped in its most important indicators of economic development, presents failures of a good process of planning of the use of the territory in its different levels of government, to have become this a complex process of solution and full of particular interests. **Methods:** The raised ones are used by complex systems and fuzzy logic, successful methods for modeling dynamic expert systems, based on knowledge management, allowing to model the dynamics of the system with multivariate processing. **Results:** Land planning model for the dynamic province of Cajamarca with characteristics of intelligent (approximate reasoning). The model integrates the indicators of exposures to vulnerability, fragility and response capacity of the environmental system and the factors of change, making it possible to determine prioritized priority intervention projects that aim to guide the investment, management and development of the province of Cajamarca. **Conclusion:** The proposed model went through its simulation process, demonstrating with proper management and implementation of planning it is possible to: 1) Stop and reverse the trends that have meant the progressive deterioration of the socio-environmental system and. 2) Be able to reorient the system productive to lead it to sustainable development.

Keywords: Complex systems, systems dynamics, artificial intelligence, fuzzy logic theory, knowledge base, territorial ordering.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, “Modelo de Planeamiento del Ordenamiento Territorial para la Provincia de Cajamarca utilizando la Teoría de la Lógica Difusa”, parte con la identificación de un vacío metodológico en los procesos de planificación en diferentes organizaciones, instituciones públicas y privadas, particularmente en el tema del ordenamiento territorial, priorizando la atención y análisis en los gobiernos regionales y municipales de la Región de Cajamarca. La metodología utilizada está enmarcada dentro del paradigma de los Sistemas Complejos y sustentada en las teorías: De Sistemas y Lógica difusa.

En su contenido se ha establecido y conceptualizado los componentes principales del planeamiento territorial como un modelo dinámico complejo, cuyas características tienen variaciones en el tiempo y el espacio, que no obedecen a comportamientos lineales. La teoría de la lógica difusa complementa a la Teoría de Sistemas, canalizando y haciendo participe al conocimiento especializado para modelar la dinámica de los sistemas de estudio brindándole la capacidad de operatividad y razonamiento aproximado.

El contenido consta de dos partes, una parte preliminar y el cuerpo de la tesis. La parte preliminar contiene los elementos que identifican la tesis, como son: caratulas, derechos de autor, dedicatorias, agradecimientos, epígrafes, índices, abreviaturas, glosarios, resumen y Abstract.

El cuerpo de las tesis consta de seis capítulos. El capítulo I comprende: La introducción, en esta parte se expone todas las consideraciones, que de una forma descriptiva han permitido el planteamiento del problema, justificación, delimitación, limitaciones y objetivos de la investigación. El capítulo II corresponde al marco teórico, comprende: Los antecedentes, en esta parte se exponen y comentan los trabajos de investigación desarrollados dentro del marco del paradigma de sistemas complejos, teoría de sistemas y la lógica difusa fundamentalmente, así como los relacionados con el ordenamiento territorial. Integra el marco epistemológico, el marco doctrinal, el marco conceptual y la definición de términos básicos de la investigación. El capítulo III corresponde al planeamiento de las hipótesis, comprende: Las hipótesis, variables y categorías, operacionalización y categorización de los componentes de las hipótesis. El capítulo IV corresponde al marco metodológico, el mismo que comprende: La ubicación, diseño, métodos, población, muestra, unidades de análisis y observación, técnicas e instrumentos de recopilación de la información, técnicas para el procesamiento y análisis de la información, equipos, materiales e insumos y la matriz de consistencia metodológica de la investigación. El capítulo V corresponde a la presentación de los resultados y discusión comprende: Presentación, análisis, interpretación y discusión de los resultados e incluye la contratación de las hipótesis. El capítulo VI corresponde a la presentación del modelo propuesto para el planeamiento del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca, se presenta en forma gráfica, esquemática y descriptiva, incluye las conclusiones, referencias bibliográficas, apéndices y anexos del trabajo.

1.1 Planeamiento del problema

1.1.1 Contextualización.

Tomando en consideración los niveles de modernidad, desarrollo sostenido y niveles de satisfacción, la provincia de Cajamarca muestra niveles de atraso, desarrollo lento e indicadores elevados de pobreza en comparación con el resto de provincias del Perú.

La industria capitalina beneficiada con economías de escala producto del apoyo de un mercado extremadamente diferenciado, con economías de aglomeración y externalidades de varios tipos, crea una densidad económica cada vez mayor con la que difícilmente pueden competir los centros secundarios del interior del país esta apreciación refleja la realidad de la provincia de Cajamarca, respecto a su producción agropecuaria. Si se considera la llegada del gas de Camisea que las hace más competitivas, ubicando en desventaja a las empresas descentralizadas, al término del presente trabajo, el gas natural se viene instalando en el distrito de Cajamarca a nivel doméstico (Glave, 2009).

La mayoría de las regiones o mercados regionales se desenvuelven en ámbitos limitados por razones geográficas, climáticas, de mercado, por la falta de infraestructura de comunicaciones, por la propia composición y segmentación de los mercados, o debido a las distancias y a los costos de transporte. Para muchas regiones la distancia y el costo del transporte actúan como un arancel proteccionista del centralismo en contra de sus actividades productivas (Glave, 2009).

En cada región periférica, las ciudades con más de 200,000 habitantes tienen atributos distorsionantes, perdiendo el más elemental sentido de las perspectivas sinérgicas y de la integración progresiva y escalonada. Debido al grado de absorción, son ciudades secundarias articuladas en forma directa a Lima, y en conjunto conforman un "centro amplio" (Glave, 2009).

La minería ha sido crucial en la conformación del sistema centro-periferia, promoviendo la centralización, el sentido del escalonamiento progresivo y el desigual desarrollo regional (Glave, 2009).

El caso de Cajamarca es, sin lugar a dudas, emblemático y representativo de los problemas metodológicos y políticos que rodean al instrumento de gestión. En primer lugar por lo que significó el nivel y tipo de participación del sector privado, en particular las empresas concentradas en el Grupo Norte (Glave, 2009).

Según el Instituto Nacional de Estadística (2012), Cajamarca es uno de los departamentos que presenta una situación crítica en cuanto a sus indicadores sociales, como se aprecia en: La tabla 1: Indicadores sociales del departamento de Cajamarca (ANEXO 01), tabla 02: Ubicación de pobreza de los distritos de Cajamarca a nivel nacional y departamental y Figura 01. Nivel de pobreza por distrito en la provincia de Cajamarca, donde se muestra que el 56% de la población de Cajamarca vive en situación de pobreza, superando al promedio nacional (34.8%) y siendo el noveno departamento con la mayor incidencia, puesto que comparte con Loreto a nivel de las provincias, 11 de las 13 muestran niveles de pobreza mayores al 50%, siendo Cajabamba la que tiene la mayor incidencia con el 69,2% (INEI, 2012).

Tabla 1:
Ubicación de pobreza de los distritos de Cajamarca a nivel nacional y departamental

| Distrito | Proyección de población | Ubicación pobreza total nacional | Ubicación pobreza total departamental |
|----------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Chetilla | 4294 | 4 | 2 |
| San Juan | 5195 | 37 | 14 |
| Cospán | 7887 | 51 | 24 |
| Asunción | 13365 | 84 | 35 |
| Jesús | 14703 | 113 | 49 |
| La Encañada | 24190 | 119 | 51 |
| Namora | 10637 | 203 | 72 |
| Matara | 3567 | 232 | 76 |
| Magdalena | 9650 | 236 | 77 |
| Llacanora | 5363 | 529 | 108 |
| Baños del Inca | 42753 | 958 | 123 |
| Cajamarca | 158298 | 1824 | 127 |
| Total | 299902 | | |

Nota. El distrito de Cajamarca por nivel de pobreza tiene una ubicación de 127, lo que representa el distrito de menor pobreza de la provincia y del departamento, Magdalena tiene una ubicación de 77 y de Chetilla 2. Fuente: Adaptado de Compendio Estadístico Cajamarca (2015).

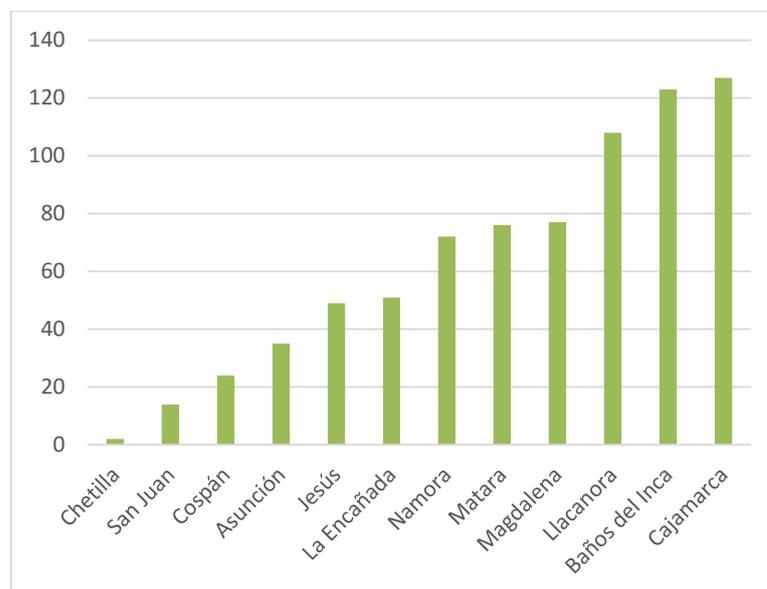


Figura 01. Nivel de pobreza por distrito en la provincia de Cajamarca
Fuente: Adaptado del Compendio Estadístico de Cajamarca – 2015. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2015.

En educación, a nivel departamento, no se cuenta con información por no haber alcanzado la cobertura requerida: solo el 69% de alumnos y alumnas, de 7 de las 13 provincias participaron de la Evaluación Censal de Estudiantes (ECE) 2010. Las provincias de Celendín, Cajabamba y San Ignacio presentaron bajos resultados en los niveles de aprendizajes esperados (15.4%, 16,2% y 18% en comprensión lectora y Cajabamba con 12.4% en matemática), respecto al promedio nacional (28,7% y 13, 8%, respectivamente) (INEI, 2009).

Para fines de noviembre se llevó a cabo la Evaluación Censal de los Estudiantes (ECE) 2011, en las que requirió de la participación de todas las instituciones educativas del departamento con el fin de contar con una línea base sobre la cual se puedan medir los aprendizajes futuros. Con relación a la salud, la mortalidad infantil en el departamento fué de 21.8 por mil nacidos vivos, siendo la provincia de San Pablo la que presenta una mayor mortalidad infantil (34.8 por mil nacidos vivos). En lo referente a la desnutrición crónica, Cajamarca aún tiene una tasa elevada (39.8%) con relación al promedio nacional, siendo más acentuada en las provincias de Cajabamba y Celendín con 47.7% y 47.3%, respectivamente. Respecto al acceso a los servicios básicos, el 41.7% de la población no cuenta con acceso a agua y el 76.9 % no dispone de desagüe.

Las provincias de Santa Cruz (88,5%), Cutervo (57,2%) Chota (53.0%) y Jaén (51,6%) son las que cuentan con un mayor porcentaje de población que no tiene acceso al servicio de agua. En cuanto al servicio de desagüe, en diez de las provincias más del 80% de sus pobladores no cuentan con este servicio (INEI, 2009).

En las provincias de San Pablo, Cutervo, San Miguel, Hualgayoc, San Marcos y San Ignacio más del 70% de la población no cuenta con alumbrado eléctrico (MEF, 2010).

Según reporte del Ministerio de Economía y Finanzas, para el período 2012–2014, el Gobierno Regional de Cajamarca ha programado una cartera de 368 PIP por un total de S/.623 millones. Dicha cartera está conformada por 62 PIP nuevos (no se encuentran en ejecución) que representan el 44% de los recursos de inversión programados (MEF, 2010).

Según funciones, se programaron 95 PIP en educación, 68 en energía, 58 en salud, 42 transporte terrestre, 21 en saneamiento y 19 en riego. De los 224 PIP en ejecución, 113 no cuentan con monto programado para ningún año, pese a que el 27% de estos tienen saldos positivos que deberían haberse programado para finalizar su ejecución (MEF, 2010).

En el marco del convenio con financiamiento de la Unión Europea y el Ministerio de Economía y Finanzas se viene ejecutando el proyecto “Modernización del Estado y Buena Gobernanza: MEF Mejora de los Instrumentos de Planificación, Programación, Seguimiento y Control de la Calidad del Gasto y la Inversión Pública” en los departamentos de Cajamarca, Huánuco y Huancavelica. En el departamento de Cajamarca, sobre la base de un esquema de trabajo consensuado, la DGPI viene acompañando al Gobierno Regional con el fin de generar la información para sustentar el desarrollo de instrumentos técnicos, procedimientos, criterios y decisiones que permitan generar las condiciones y capacidades para el desarrollo de las tareas de identificación de brechas, priorización de necesidades, ámbitos o servicios y en función de ello realizar el ejercicio de una adecuada programación de inversiones (MEF, 2010).

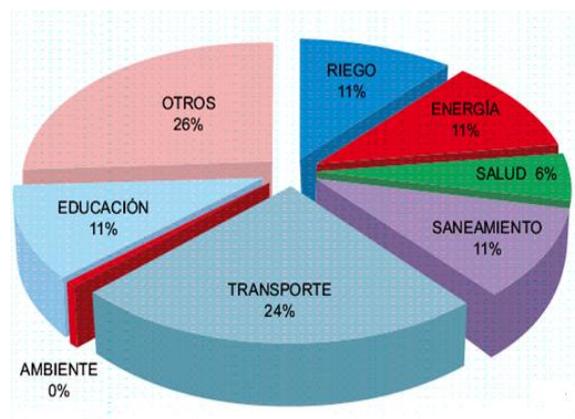


Figura 02. Inversión ejecutada por función 2006 – 2010

Fuente: Sistema Integrados de Administración Financiera – Ministerio de Economía y Finanzas - Perú.

Las: figura 2, 3, 4 y las tablas 2, 3, nos muestran de una manera tabular y gráfica la programación de inversiones e Inversión Estratégica y Concertada 2016 – 2018, de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, como resultados del proceso de planeamiento.

Tabla 2:

Programación Multianual de Inversiones 2016 – 2018 de la Municipalidad Provincial de Cajamarca

| Función | 2016 (S/.) | 2017 (*) | 2018 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Trasporte, vías (vecinales, urbanos) | 15,143,258 | 10,500,000 | 12,000,000 |
| Agua y saneamiento | 5,134,511 | 12,000,000 | 12,000,000 |
| Electrificación | 1,492,196 | 2,000,000 | 1,500,000 |
| Turismo (*) | 75,000 | 5,000,000 | 5,000,000 |
| Agropecuario | 605,116 | 1,000,000 | 1,500,000 |
| Medio Ambiente | 500,000 | 1,000,000 | 1,000,000 |
| Orden público y seguridad ciudadana | 630,112 | 500,000 | 500,000 |
| Infraestructura comercial (mercados) | 800,000 | 1,000,000 | 1,000,000 |
| Educación | 1,730,544 | 1,000,000 | 1,000,000 |
| Planeamiento territorial e institucional | | 500,000 | |
| Servicio de la deuda (obras por impuestos) | 7,659,805 | 5,000,000 | 5,000,000 |
| Sub total presupuesto proyectos | 33,770,542 | 39,500,000 | 40,500,000 |

Nota: En la programación multianual de inversiones 2016 – 2018 de la Municipalidad Provincial de Cajamarca año 2016 (*), observamos que es el único año en el que se planifica una inversión para aspectos de Planificación y Ordenamiento Territorial.

Fuente: Plan Estratégico Institucional 2016 - 2018 de la Principalidad Provincial de Cajamarca.
<http://www.municaj.gob.pe/#>.

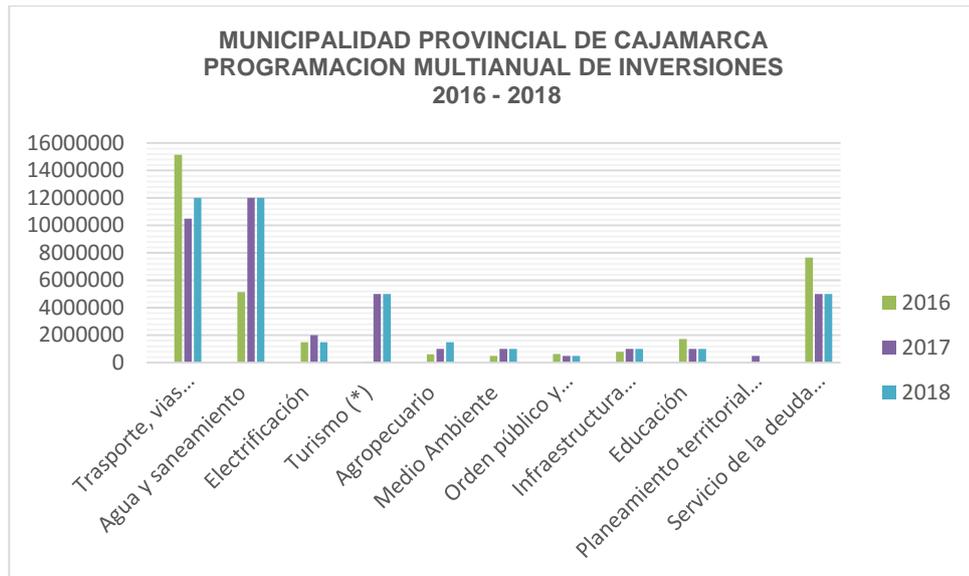


Figura 03. Programación Multianual de Inversiones 2016 - 2018

Fuente: Adaptado del Plan Estratégico Institucional 2016 - 2018 de la Principalidad Provincial de Cajamarca.

Tabla 3:

**Inversión Estratégica y Concertada 2016 – 2018 de la
Municipalidad Provincial de Cajamarca**

| | Monto (s/.) |
|---|-------------------|
| Presupuesto participativo (*) | 21,000,000 |
| Polideportivos zonales | 12,000,000 |
| Pistas y veredas centro histórico | 4,000,000 |
| Pistas y veredas otras zonas de la ciudad | 14,000,000 |
| Saneamiento básico rural | 10,000,000 |
| Electrificación rural | 3,000,000 |
| Puesta en valor del centro histórico | 8,000,000 |
| TOTAL | 72,000,000 |

Nota: En las Inversiones Estratégicas Concertadas 2016 – 2018 de la Municipalidad Provincial de Cajamarca año 2016 (*), observamos una proyección de 21 millones de soles. Fuente: Plan Estratégico Concertado 2016 - 2018 de la Principalidad Provincial de Cajamarca. <http://www.municaj.gob.pe/#>.

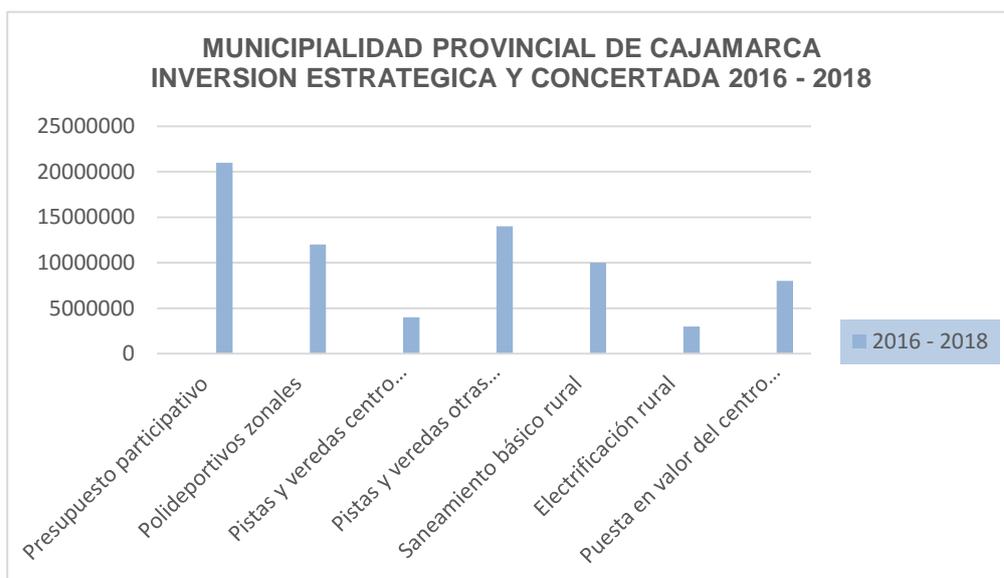


Figura 04. Inversión Estratégica y Concertada 2016 - 2018

Fuente: Adaptado del Plan Estratégico Institucional 2016 - 2018 de la Principalidad Provincial de Cajamarca.

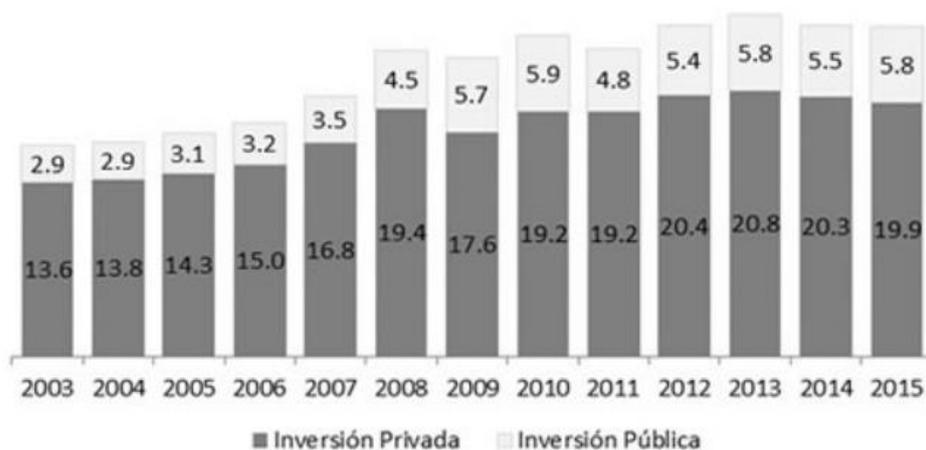


Figura 05. Inversión Privada y Pública en Perú 2003 - 2015

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

Las funciones más importantes del Estado sin lugar a dudas son: El rol integrador, redistribuidor y compensador (Glave, 2009), continua siendo muy débil, mientras se programan proyectos multimillonarios como las líneas del tren eléctrico en Lima entre otros, en Chetilla a pocos minutos de la Cajamarca, capital de departamento.

La vía que los comunica es trocha afirmada, concordamos que aún no existen políticas orientadas a atenuar las desigualdades productivas y distributivas de las regiones. Estas características de carácter estructural, acentúan las fallas de las organizaciones y su funcionamiento, de los factores de producción, mercados de consumo y distribución (Glave, 2009). Esta reflexión se corrobora con los datos que nos muestran la figura 5, que nos indica que la inversión pública y privada en el Perú en los últimos años es elevada, y que en lo que respecta a la Región de Cajamarca sus indicadores de desarrollo se mantienen estabilizados sin tendencia de crecimiento.

Del mismo modo, se ha seguido la misma lógica centro-periferia aplicada a las dinámicas endógenas, sin visualizar la homogenización del desarrollo de cada región, ignorando el impulso de sus vocaciones productivas, sin introducir cambios en el sistema del "centro" con su propia periferia. Se requieren reformas tanto en el centro como en la periferia para contener estos efectos multiplicadores y distorsionantes de una política de desarrollo territorial. Se requiere asumir, con verdadera voluntad innovadora, el problema en toda su dimensión y gravedad, y a la vez, establecer una política capaz de cruzar y movilizar a todas las instancias públicas y privadas para erradicar el centralismo, problema que consume nuestros mejores recursos humanos y materiales (Glave, 2009).

En los primeros años de implementado el proceso de elaboración de la ZEE describe Glave (2009), a nivel regional, el sector privado consideraba al instrumento como poco viable y ciertamente manipulable por los intereses contrarios a la inversión minera, en particular por lo que significaría la prohibición de proyectos mineros en cabeceras de cuencas hidrográficas. Así, no es sino hasta el año 2008 cuando por primera vez, probablemente a nivel nacional, representantes del sector empresarial minero deciden participar y contribuir de manera activa en el proceso de trabajo conducido por el Gobierno Regional. Pero este hito en lo que se refiere a la participación

del sector privado no pudo culminar de peor forma, cuando a fines del año 2010, aduciendo que el producto final no era técnicamente aceptable (sesgado hacia la conservación de la biodiversidad y contrario a la inversión de proyectos mineros en cabeceras de cuencas) así como también, de acuerdo al punto de vista de las empresas agrupadas en el Grupo Norte, la manipulación de la sociedad civil en las actividades de validación, se llegó al extremo de proponer usos específicos de los recursos naturales, yendo más allá del mandato legal del instrumento, el cual solamente se limita a identificar las potencialidades y limitaciones para el aprovechamiento de los recursos naturales en la región.

Pero el caso de Cajamarca nos presenta dos lecciones adicionales. Por un lado, las enormes dificultades metodológicas que enfrenta el instrumento de la ZEE en ecosistemas de montaña, ya que la escala tanto de la Macro zonificación (Región) como de la Meso zonificación (Provincia) es demasiado amplia como para tomar en consideración las enormes diferencias en vocación productiva y restricciones tecnológicas encontradas en las diferentes zonas agroecológicas. (Glave, 2009).

Glave Testino (2009), nos describe que algunas voces en Cajamarca llegaron a cuestionar el proceso, reclamando que es necesario iniciarlo desde un ordenamiento predial, para luego ir hacia el ordenamiento de una micro cuenca hidrográfica y recién, después de aquello, llegar a niveles mayores territoriales (como las Provincias y/o la Región). Esto es un punto fundamental si se quiere ampliar e intensificar el alcance de la ZEE en los Andes peruanos en el futuro inmediato.

Y, por otro lado, el caso de Cajamarca ha mostrado de manera muy transparente el carácter político que tiene el instrumento. Al respecto nos referimos no solo a lo que significa el necesario proceso de negociación y concertación que está detrás de cualquier definición de opciones de desarrollo en un Plan de Ordenamiento Territorial,

sino también a nivel metodológico, ya que el proceso mismo de elaboración de la ZEE requiere de toma de decisiones informadas a nivel técnico que contienen una dimensión subjetiva incuestionable. Es decir, el mismo proceso de ZEE ya tiene incorporado un momento de definición política que no había sido considerado plenamente.

Cabe destacar el rol de las mancomunidades y otras plataformas de desarrollo económico local en el proceso de ordenamiento territorial en la región de Cajamarca. Al igual que en otras regiones, una serie de casos demuestran la importancia de las asociaciones de varios municipios para impulsar el desarrollo de la ZEE con el fin de planificar sus territorios bajo enfoques de cuencas o de corredores económicos.

1.1.2 Descripción del problema.

La Región Cajamarca, conjuntamente con sus provincias y distritos no ha consolidado adecuadamente un plan de ordenamiento territorial dinámico que les permita un crecimiento económico sostenido y el desarrollo de todos sus sectores. Este desarrollo y crecimiento económico requiere del incremento de los niveles de conocimiento de sus recursos humanos, de una reconversión productiva permanente dentro de sus territorios, aprovechando peculiaridades y potencialidades propias.

Luis Cáceres (2007), describe: “[...] debido a nuestra tradicional educación, de cierta manera estamos impregnados de una idea: el Perú es un país rico en recursos naturales, y éstos son inagotables. Esta forma de pensar nos hace ser poco previsores en la explotación de recursos naturales, nos hace pensar que estamos ante una inacabable fuente de recursos, inclusive, nos hace creer que el territorio nacional o en este caso el regional y sus recursos, nos alcanzarán para todo aquello que queramos hacer.

En este sentido debemos constantemente identificar elementos de nuestro entorno inmediato, para conocerlos y proponer su mejor uso, sea este un recurso o un

espacio. El territorio que es de naturaleza finita, debe ser manejado con responsabilidad e inteligencia, pensando en el deber de no comprometer su potencialidad y subsistencia en el futuro, pues es un derecho también de las siguientes generaciones.

Como consecuencia, los esquemas de planificación y gestión territorial que se practicaron en el pasado, fueron poco eficaces, se ha retomado una nueva dinámica surgiendo una gama de nuevas necesidades de nivel sub nacional y supranacional que han derivado en procesos de construcción y modernización de infraestructura física, social y productiva, servicios múltiples y especializados, sobre todo, en el campo logístico y del transporte, que hacen aún más compleja la situación descrita” (Cáceres Angulo, 2007).

Este proceso de gestión, Héctor Massone y Daniel Martínez (2008) expresan:

“[...] en tanto conjunción de diversas tareas, es complejo y en numerosas oportunidades presenta falencias que más tarde o más temprano se manifiestan con efectos negativos para la sociedad o para el medio. En el caso que se analiza en este trabajo, este proceso se generaliza como “gestión ambiental” o “gestión ambiental de recursos naturales””.

Implica una secuencia de acciones, tal como se observa en la figura 6.

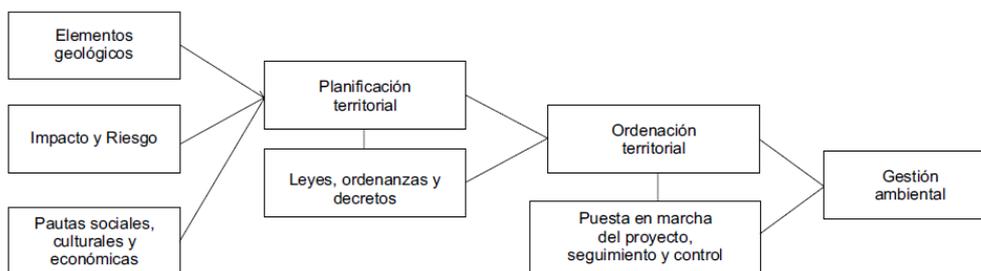


Figura 06. El proceso de Gestión Ambiental

Fuente: Tesis Doctoral, Héctor Massone: Geología y Planificación Territorial en la Cuenca Superior del Arroyo Grande, Provincia de Buenos Aires (2003).

El término “planificación territorial” aparece como adaptación del término inglés más frecuentemente usado (“land-use planning”). Se entiende por tal al relevamiento y análisis del medio físico (o natural) y del medio humano (o construido), a fin de regular el uso del espacio físico y de los recursos naturales en función de la máxima compatibilidad entre actividades y medio. Asimismo, se considera la planificación territorial como una etapa de un proceso más amplio denominado “gestión ambiental”. Este proceso, que se inicia con la planificación territorial, continúa con la promulgación de leyes, ordenanzas o decretos que permitan llevar a la práctica lo planificado. La sumatoria de planificación y legislación define el concepto de ordenación territorial. Es necesario que exista seguimiento y control del desarrollo del proyecto para completar el proceso de gestión ambiental (Massone & Martínez , 2008, p. 15).

1.1.3 Formulación del problema.

Problema principal.

¿En qué medida es posible que la teoría de la lógica difusa permite contribuir al proceso del planeamiento del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca caracterizado de multivariable, dinámico y no lineal; integrando un modelo que direcciona positivamente sus propuestas de desarrollo?

Pregunta auxiliar 1.

¿De qué manera la lógica difusa puede modelar la dinámica de un proceso utilizando variables lingüísticas?

Pregunta auxiliar 2.

¿Cómo se diseña e implementa la propiedad del razonamiento aproximado en el modelamiento de proceso de un sistema?

Pregunta auxiliar 3.

¿De qué manera es posible realizar una programación y secuenciación de los factores de cambio en base a los indicadores de vulnerabilidad en el proceso de planeamiento del ordenamiento territorial?

1.2 Justificación e importancia

1.2.1 Justificación científica.

Los fundamentos teóricos que han otorgado el nivel científico para plantear la propuesta del presente trabajo de investigación han sido: La Lógica Difusa, presentado por Lofti Zadeh (1965). Teoría bastante utilizada en diferentes áreas de la ciencia y particularmente en el campo de la Ingeniería e Inteligencia Artificial para la construcción de proyectos de sistemas expertos en base a la gestión del conocimiento; a la fecha se viene revisando y retroalimentando por la comunidad científica en variadas y amplias aplicaciones tecnológicas.

Entre los estudios más representativos identificados en los que se utiliza la lógica difusa tenemos: Trabajo de tesis de Jose Cadenas (2015) titulada “Sistemas de Bases de Datos Difusas Sensibles al Contexto”, este trabajo nos presenta el modelamiento de un sistema para la gestión de datos en el que

integra las base de datos relacionales y las base de datos difusas con el objetivo de brindar respuestas razonadas a consultas dinámicas.

Agustín Gajate (2010) en su trabajo de tesis Titulada “Modelado y control neuroborroso de sistemas complejos. Aplicación a procesos de mecanizado de alto rendimiento”, en este trabajo de exponer un modelo difuso para el control inteligente del mecanizado en la producción de piezas metalizas de alta precisión.

Un trabajo de tesis representativo es el desarrollado por Carlos Garcia (2003), titulado “Modelo basado en lógica difusa para la construcción de indicadores de vulnerabilidad urbana frente a fenómenos naturales”, este trabajo es de características multivariadas y no lineales en el que el modelo procesa e infiere para la determinación de indicadores de vulnerabilidad.

Jose Galindo (2008) presenta el libro “Handbook of research on fuzzy information processing Handbook of research on fuzzy information processing”, el presente libro describe el procedimiento para el procesamiento de datos e información imprecisa y vaga con el objetivo de obtener una decisión razonada y exacta.

La revisión y utilización de la Teoría General de Sistemas presentado por Ludwing Von, Bertalanffy (1976) y ampliado esta última en los aspectos metodológicos que nos presentan Rolando Garcia (2006) y Francisco Aracil (1995) en la Dinámica de Sistemas, nos sientan las bases para la aplicación como Sistemas como Complejos.

Ronald G. Rivera Alfaro, (2014) en su libro “Desarrollo como sistema complejo” hace la siguiente presentación: El resurgimiento conceptual del desarrollo desde las “nuevas ciencias” o “ciencias de la incertidumbre”, tiene como objetivo metodológico ampliar la lógica neopositivista del crecimiento, subsumiendo este relato a criterios de demarcación –axiológico y epistémico- para una reestructuración de totalidades en sentido piagetiano. Este proceso ha enrumbado un esquema importante de interrelaciones donde la necesidad ya elaborada deja su centralidad en el discurso para darle paso a la exigencia del desarrollo como un derecho universalizable (p. 197).

Ronald G. Rivera Alfaro, (2014) hace referencia de las preocupaciones de Sergio Boisier sobre la comprensión de las nuevas contribuciones teóricas [...] la linealidad, la proporcionalidad, la certidumbre, el empirismo, y sobre todo, la disyunción cartesiana, base del método analítico, impiden aprehender la realidad social en su complejidad. El desarrollo, hay que señalarlo [...] como una cuestión o un problema de elevada complejidad, cuyo entendimiento requiere modelos mentales basados en otros paradigmas (p. 201).

Del mismo modo Ronald G. Rivera Alfaro (2014), menciona que las posibilidades metodológicas que la lógica sistémica se abre para la comprensión y análisis del desarrollo, parten en principio, de una nueva estructura la cual se dirige en un modelo organizado a partir de la interdefinibilidad de sus componentes.

Una contribución importante es la de Salvador Condorinas (1973) que define: "Un sistema económico es un conjunto de variables económicas entre las que existen relaciones de interdependencia, cierta coherencia y unidad de

propósito es abierto y dinámico, diferenciable en diversos subsistemas y complejo”.

Una característica esencial de los sistemas sociales y económicos es que en el interior de los mismos se genera las fuerzas que les impulsan a su evolución en el tiempo. Entre los elementos o subsistemas que componen un sistema social existen un conjunto de interacciones que producen su comportamiento dinámico.

El análisis de sistemas persigue el estudio de todas esas interacciones elementales para explicar el comportamiento global del sistema. El instrumento conceptual que se utiliza es el de bucles de realimentación.

Como todo sistema complejo, los sistemas sociales presentan con frecuencia comportamientos opuestos a los que, en principio, cabría esperar de modo intuitivo. Es lo que (Forrester J. , 1971) llama comportamiento "counter intuitive" o "anti intuitivo" de los sistemas sociales. (Aracil & Gordillo, 1995), señala "en los sistemas complejos existe una gran multiplicidad de bucles de realimentación en interacción. De ellos, algunos son positivos y gobiernan los procesos de crecimiento, mientras que otros son negativos y gobiernan los procesos estabilizadores. Debido a la complejidad de las interacciones, la causa de un cierto problema puede estar situada muy lejos en el tiempo de los síntomas que produce, o puede estar situada en una parte completamente diferente y remota del sistema. Uno de los aspectos que resalta la dinámica de sistemas es que las causas de los problemas que aparecen en los sistemas sociales se encuentran habitualmente, no tanto en sucesos previos, como en la estructura misma del sistema".

Una observación de gran interés de Aracil y Gordillo (1995) es: "de un sistema social se consideran, habitualmente, solo los síntomas. Si se pretende corregir estos síntomas, sin atender a las causas profundas que los producen, se pueden obtener unos resultados que sean precisamente los contrarios de los buscados. La lección que debe extraerse de la aplicación de la dinámica de sistemas al estudio de determinados problemas sociales, es la de que estos efectos negativos no tienen por qué ser generados de forma inesperada por el sistema, y aceptados indiscriminadamente, sino que por medio de un análisis del sistema pueden preverse y corregirse.

Otra característica de interés del análisis de sistemas, y que resulta útil para el estudio de los sistemas sociales, es la medida de la complejidad de la estructura, y de la complejidad del funcionamiento de los procesos, que permita estudiar los sistemas como totalidades. El método para medir la complejidad ha sido desarrollado por Von Neumann (1968) a partir de la teoría de la comunicación. La medida de la complejidad de la estructura es conocida con el nombre de "teoría de los juegos" y "matemática de la decisión".

Si de los sistemas sociales pasamos a los sistemas socio-económicos, veremos que también en este terreno la metodología de sistemas es especialmente indicada y, resulta útil. Así lo confirman las múltiples aplicaciones realizadas en el campo de la macroeconomía.

De este modo, la combinación de la información, la prueba empírica y la estrategia metodológica se unen para conformar lo que según Piaget es una nueva "reestructuración de totalidades" (Gonzales Casanova, 2004), la cual se anida en la idea de sistema abierto y en la lógica de orden y organización mediante el constante flujo de energía (es decir, la relación recursiva entre la

labor política, los movimientos sociales y los estadios de la pobreza, el empleo, la demografía, los derechos humanos, el medio ambiente, la política exterior, la seguridad, la educación, la salud y el género, en un conglomerado de acciones y omisiones que determinan el ejercicio de los derechos de la totalidad de la población mundial.

La Lógica difusa y el enfoque sistémico vienen representado alternativas muy útiles para analizar problemas complejos como los que normalmente se plantean en el análisis de problemas económicos - sociales y políticas públicas.

De esta forma, el uso de modelos para representar problemas sociales es de gran utilidad debido a que permite entender un número finito de posibles soluciones, las variables que tienen relación y el medio en el que está inmerso un problema determinado. El enfoque sistémico en la ciencia tiene la finalidad de mejorar las hipótesis que se han formulado y, en el caso de problemas sociales, pueden ayudar a lograr cambios en el statu quo a través de la intervención de autoridades gubernamentales.

Se conceptualizan las características básicas de los sistemas sociales y, en particular se analizan, en qué medida, y de qué manera, la metodología de dinámica de sistemas las aprehende. Al mismo tiempo se analizan las controversias habidas en torno al valor de tal metodología, así como sus principales conceptos e instrumentos.

Tomando en consideración las base teóricas y metodológicas expuestas en los párrafos anteriores, se expresa que el presente trabajo de investigación por ser un trabajo de tipo aplicativo, como se anotó en la parte introductoria, se llena un vacío de conocimiento a la falencia de un modelo teórico para el

planeamiento del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca de características sistémicas y sistemáticas con capacidad de razonamiento aproximado.

Se apoya y soporta fuertemente en las Teorías de: La Lógica Difusa, Teoría General de Sistemas y Sistemas Complejos. Los resultados se presentan de una forma genérica, los mismos que se pueden adaptar y utilizar para el uso en cualquier disciplina. La investigación utiliza de manera sustantiva las bases teóricas para el establecimiento del modelo de planeamiento del ordenamiento territorial, planteado en el presente trabajo.

La investigación presenta un modelo de características sistémicas, sistemáticas, dinámico y razonamiento aproximado, un paso importante hacia la construcción de un modelo de planeamiento del ordenamiento territorial de características de inteligente.

1.2.2 Justificación técnica - práctica.

La justificación técnica-práctica más importante del presente trabajo de investigación es la aplicación de las teorías de: La lógica difusa y De Sistemas para la resolución de problemas complejos, como en este caso el plan para el Ordenamiento Territorial para la provincia de Cajamarca, como alternativa a los modelos clásicos de planeamiento que se vienen utilizando a la fecha. A lo expuesto sumamos la fortaleza de la propuesta metodológica, la misma que se viene utilizando con éxito por la ciencia en diferentes disciplinas, dado que permite la construcción de un motor de inferencia difuso, que conjuntamente con su base de datos y conocimiento permite gestionar valoraciones subjetivas y

variables cualitativas provenientes del equipo de investigación y de los actores involucrado en el análisis y toma de decisiones del sistema en estudio.

Rolando García (2006), explica que:

"[...] las situaciones a las cuales se suele aplicar la expresión "problemas ambientales", tales como las condiciones insalubres de vida en grandes centros urbanos, o el deterioro del medio físico y de las condiciones de vida en extensas regiones, no pueden ser estudiadas por simple adición de investigaciones disciplinarias. Se trata de problemáticas complejas donde están involucrados el medio físico-biológico, la producción, la tecnología, la organización social, la economía. Tales situaciones se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada, a la cual hemos denominado sistema complejo.

La "complejidad" de un sistema no está solamente determinada por la heterogeneidad de los elementos (o subsistemas) que lo compone, y cuya naturaleza los sitúa normalmente dentro del dominio de diversas ramas de la ciencia y la tecnología. Además de la heterogeneidad, la característica determinante de un sistema complejo es la interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que cumplen dichos elementos dentro del sistema total. Esta característica excluye la posibilidad de obtener un análisis de un sistema complejo por la simple adición de estudios sectoriales correspondientes a cada uno de los elementos.

La no-aditividad de los estudios sectoriales se torna aún más evidente cuando se tratan de evaluar las implicaciones de la introducción de modificaciones en un sistema, o de proponer, por ejemplo, políticas alternativas para el desarrollo sustentable de una determinada región. En efecto, un principio básico de la teoría de sistemas complejos afirma que toda alteración en un sector se propaga de

diversas maneras a través del conjunto de relaciones que definen la estructura del sistema y que, en situaciones críticas, genera una reorganización total (p. 87).

En este contexto, metodología "adecuada" significa que debe servir como instrumento de análisis de los procesos que tienen lugar en un sistema complejo y que explican su comportamiento y evolución como totalidad organizada (p. 88).

Los estudios sobre problemas ambientales han puesto de manifiesto, de manera reiterada, la insuficiencia de las metodologías tradicionales (o, más exactamente, de lo que tradicionalmente se entiende por metodología). De allí a elaborar propuestas concretas que constituyan verdaderas alternativas para realizar dichos estudios, y que reúnan, además, la indispensable condición de ser operativas, es decir, poder traducirse en procedimientos más o menos precisos que orienten las investigaciones, hay un largo camino erizado de dificultades. Como ocurre en todos los campos, es más fácil ponerse de acuerdo sobre lo que debemos abandonar y superar en las viejas prácticas de investigación, que concordar en una propuesta que logre superadas.

Bajo la consideración que; para muchos teóricos y analistas, las Ciencias Económicas no son unas ciencias exactas, al respecto Alfonso Sarria (1992), en su aporte al Anuario de Psicología de la Universidad Autónoma de Barcelona, titulado: "Conjuntos borrosos: perspectivas sugerentes" menciona a la referencia bibliográfica "Modelos matemáticos de la vaguedad" (Trillas, 1980) de la cual rescata lo siguiente: "La inteligencia humana trata y razona sobre conceptos vagos. Se toman incluso decisiones importantes sobre la base de una información imprecisa. La fuente de imprecisión es precisamente la carencia de criterios nítidos de pertenencia a una determinada clase. Para abordar estos problemas de imprecisión se está en la búsqueda de modelos [...] mucho más flexibles que los de la matemática tradicional y basados en una lógica distinta de la lógica clásica o booleana".

En particular, la simulación a pesar de ser reconocida como una herramienta útil en una gama amplia de disciplinas, en ocasiones ha sido relegada,

más por el tiempo que ella tradicionalmente ha requerido para su implementación que por su dificultad”.

Así mismo, Agustín Gajate (2010) menciona:

“Sin embargo, no solo basta con aplicar paradigmas emergentes dentro de la Inteligencia Artificial. Los retos anteriormente expuestos hacen necesario el empleo de técnicas capaces de dar respuesta a la interacción de procesos, a dinámicas complejas, a la presencia de incertidumbre. Además, tal y como se ha visto en el apartado anterior, un control adecuado de estos sistemas complejos requiere del uso de modelos más allá de los lineales al uso.

La importancia sobre la propuesta de un nuevo modelo para el plan de ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca está sustentado en los diferentes trabajos y proyectos de investigación que se vienen desarrollando sobre el tema y que se han expuesto previamente; involucrados estados, organizaciones mundiales, centros de investigación, grupos de trabajo académico multidisciplinario de universidades, que vienen haciendo esfuerzos en la búsqueda de soluciones a problemas relacionados a los desastres naturales, desarrollo social, desarrollo económico y la gestión del medio ambiente.

En este sentido, el presente trabajo es un aporte conceptual y metodológico para el planeamiento del Ordenamiento Territorial desde una visión sistémica compleja que permitirá internalizar las valoraciones de expertos, para estudiar globalmente el sistema territorial. Desde la perspectiva aquí planteada, se convierte en una herramienta de trabajo para la promoción y ejecución de programas y proyectos de desarrollo en las unidades territoriales del orden municipal y departamental.

1.2.3 Justificación institucional y personal.

El Decreto Supremo N° 004-2013-PCM, establece la Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública (Ejecutivo, 2012) esta norma establece en los aspectos conceptuales y operativos para la modernización de la gestión pública del Perú y la ley N° 27795 - ley de demarcación y organización territorial (Congreso, 2002), entre otras normas legales, involucran directamente a los gobiernos locales y regionales la necesidad de la organización territorial del Perú y modernización del estado peruano



Figura 07. Cadena de valor. Presupuesto y Gestión por Resultados

Fuente: Normas legales, diario El Peruano. Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública al 2021. (2012).

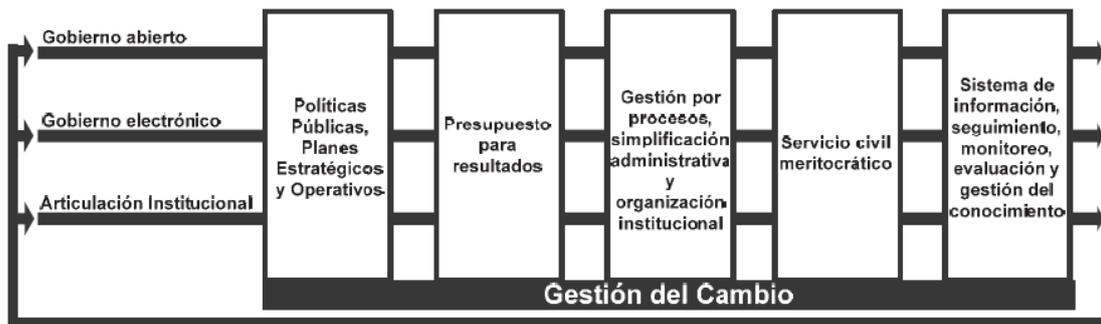


Figura 08. Pilares y Ejes de Modernización de la Gestión Pública

Fuente: Normas legales, diario El Peruano. Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública al 2021 (2012).

A la fecha de culminación de la presente investigación, se observa que la implementación de esta norma, evidentemente no ha avanzado, la explicación radica especialmente por el desconocimiento de los fundamentos conceptuales de la teoría de sistemas, base de la norma, por lo que se deduce la necesidad de establecer una metodología que sirva de modelo para la utilización en las diferentes instituciones y niveles de gobierno. Modelo que se prepone y presenta en el presente trabajo de investigación.

Desde el punto de vista personal, la experiencia de cerca de veinte años en el modelamiento de sistemas en base a Teoría de Sistemas y el uso de la Lógica Difusa en el campo de la Inteligencia Artificial y la necesidad de brindar una solución a toda una problemática, brindaron la motivación para la realización del presente trabajo, lo que a estas altura podemos manifestar, objetivo cumplido.

1.3 Delimitación de la investigación

El ámbito geográfico para el desarrollo del presente estudio es la Provincia de Cajamarca, ubicada al sur del departamento. Limita por el norte con la provincia de Hualgayoc, por el sur con Cajabamba y la provincia de Otuzco del departamento de la Libertad, por el noreste con Celendín, por el este con San Marcos y por el oeste con San Pablo y Contumazá. Su capital es la ciudad de Cajamarca a 2,750 m.s.n.m., la, capital departamental, ubicada a 856 km. al norte de Lima. La provincia está conformada por 12 distritos y abarca una superficie territorial de 2,979.78 km², esta información se muestra de una manera ilustrativa en las figuras: en los anexos 02, 03 y 04.

La provincia de Cajamarca cuenta, en la actualidad, con 288,865 habitantes. Es la más poblada del departamento, pues concentra el 19.05% de su población, y, al mismo tiempo, es la provincia con mayor grado de urbanización departamental (44.2%). Los distritos más poblados de la provincia son Cajamarca (153,466 habitantes), distrito objetivo del presente estudio, Baños del Inca (29,892), y La Encañada (27,095). En conjunto, en estos tres distritos, se concentra el 72.85% de la población provincial; el 27.14% restante se distribuye entre los otros nueve distritos (INEI, 2012).

1.4 Limitaciones

En el modelo propuesto para la formulación del plan del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca en la presente investigación, consideramos una limitación, en lo que respecta a su construcción y validación, por su naturaleza y carácter multidisciplinario, interdisciplinario y transdisciplinario, involucra altos costos, que implica congregarse equipos especializados, esto no ha sido posible, su desarrollo se ha basado en su validación con los aportes del autor, asesor y conocimiento disponible en base a entrevistas.

Una segunda limitante es que para la simulación de la dinámica del sistema y subsistemas se requirió de una gran cantidad de datos, información y conocimientos, los mismos que resultaron pocos, de difícil acceso y limitados por lo que para su validación se utilizaron datos por conveniencia y que el modelo prevé esta retroalimentación y corrección.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general.

Formular un modelo de plan de ordenamiento territorial dinámico que permita promover el desarrollo sostenible de la Provincia de Cajamarca, el aprovechamiento de los recursos naturales de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

1.5.2 Objetivos específicos.

a) Objetivo específico 1.

Identificar los componentes de un de un sistema y simularlos bajo condiciones que permitan garantizar la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales.

b) Objetivo específico 2.

Estimar un indicador para los factores de cambio que permitan priorizar de manera eficaz las necesidades en el planeamiento del ordenamiento territorial para en la provincia de Cajamarca.

c) Objetivo específico 3.

Elaborar una programación y secuenciación de los factores de cambio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel internacional.

Carlos García (2003) en su trabajo de tesis “Modelo basado en lógica difusa para la construcción de indicadores de vulnerabilidad urbana frente a fenómenos naturales”, pone en consideración una apreciación de Gutiérrez (2000), según la cual la realidad social puede matematizarse a semejanza de cómo se ha hecho con la realidad física. Un sistema social es abierto e intercambia materia, energía e información con su entorno.

En ellos nada está quieto, hay una multitud de elementos individuales que influyen de manera no lineal en el comportamiento general del sistema. Para Gutiérrez, las posibilidades de matematizar las ciencias humanas radican en identificar a los sistemas sociales como sistemas complejos, y fundamentalmente porque estos pueden situarse en regímenes críticos caracterizado por la presencia de fluctuaciones espaciales y temporales en todas las escalas posibles (p. 91).

A partir de considerar holísticamente la vulnerabilidad de un sistema urbano, integrando en su estimación factores naturales, tecnológicos y sociales, se estableció un modelo basado en un sistema de lógica difusa que permite estimar la vulnerabilidad que un sistema determinado presenta ante la ocurrencia de un fenómeno natural

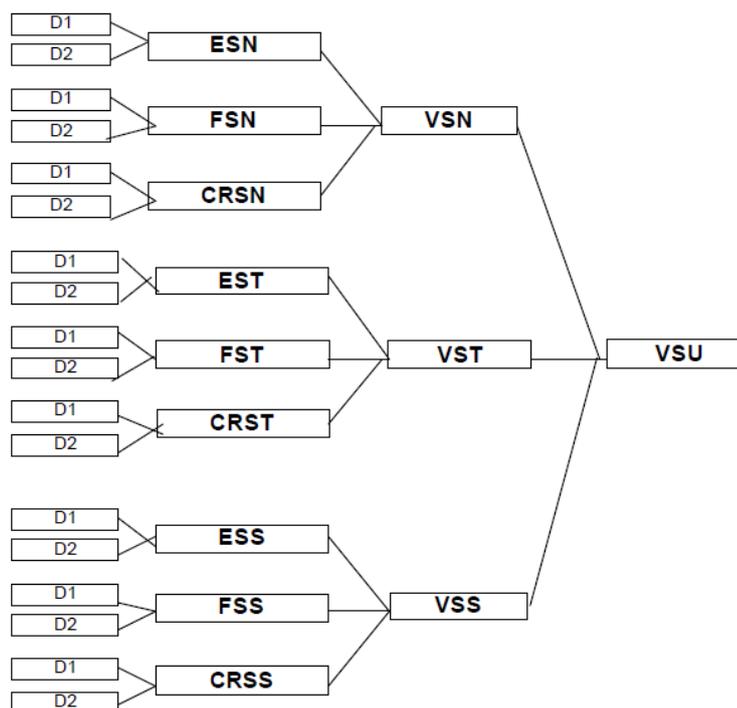


Figura 9. Indicadores para la Evaluación de la Vulnerabilidad de un Sistema Urbano

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, Carlos Eduardo Garcia López, tesis: Modelo Basado en Lógica Difusa para la Construcción de Indicadores de Vulnerabilidad Urbana Frente a Fenómenos Naturales. Manizales (2003).

Leyenda:

- VSU Vulnerabilidad del sistema urbano
- VSN Vulnerabilidad del sistema natural
- VST Vulnerabilidad del sistema tecnológico
- VSS Vulnerabilidad del sistema social
- ESN Expansión del subsistema natural
- FSN Fragilidad del subsistema natural

CRSN Capacidad de respuesta del subsistema natural
EST Exposición del subsistema tecnológico
FST Fragilidad del subsistema tecnológico
CRST Capacidad de respuesta del sistema tecnológico
ESS Exposición del subsistema social
FSS Fragilidad del subsistema social
CRSS Capacidad de respuesta del sistema social

Para Giacomo Becattini, (2004) [...] una política del territorio, estructuralmente más cercana a las experiencias, valores y propensiones de los diferentes grupos de población, tiene que ser pensada conjuntamente con la de la industria, estructuralmente más cercana a las exigencias de las empresas (p. 26).

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el modelo obtenido tiene que servir de soporte a las funciones de diseño integrado del sistema de control, a la monitorización, al entrenamiento de personal, a la planificación, a la simulación predictiva para sistemas de ayuda a la decisión en línea, etc. Por consiguiente, la tarea de modelado requiere una investigación profunda y un esfuerzo importante. No en vano, el desarrollo de métodos para modelizar sistemas complejos sentará en buena medida las bases para la implantación de sistemas de control y monitorización inteligentes en la industria. Además, la mejora del rendimiento en un proceso productivo, la calidad del producto final, el aumento de la productividad y la disminución de costes dependerán de la calidad del modelo obtenido” (p. 3).

En su informe de tesis César Vergara y Horacio Gaviria (2009) “Aplicaciones de la Lógica Difusa en la Planificación de la Producción” presentaron la aplicabilidad de la Lógica Difusa en el Planeamiento de la Producción y describen lo siguiente: La lógica Difusa [...] es una lógica alternativa a la lógica clásica que intenta introducir un nivel de

incertidumbre en los aspectos que evalúa. En la vida real nos encontramos con muchos conocimientos imprecisos o inciertos por naturaleza; la lógica y el pensamiento del ser humano con frecuencia nos conducen a información de este tipo, seguramente originada del mismo razonamiento humano que basa sus decisiones en experiencias similares o datos históricos.

A primera vista la lógica difusa es un lenguaje que nos permite modelar sentencias del lenguaje natural del ser humano como un formulismo matemático. Este modelamiento se realiza a través de un función de membresía o pertenencia continua en el intervalo $[0,1]$ que califica el nivel de pertenencia de cada elemento de un conjunto. Esta teoría va en vía contraria con la teoría clásica de conjuntos, en donde la función de pertenencia solo le asigna dos valores a los elementos que califica; le asigna el valor de uno a los elementos que pertenece al conjunto y cero en el caso contrario (p. 10).

G. Peña (2004), expone que con frecuencia se ha encontrado que la mejor manera para llevar a cabo estudios e investigaciones de sistemas es a través de la simulación de los mismos. Los métodos y mecanismos para lograr estos propósitos son variados. Unos son más apropiados que otros dependiendo de los problemas o intereses que conciernen a los observadores y de las características de los mismos sistemas o procesos. Algunos de los métodos y mecanismos, conocidos por muchos años, siguen utilizándose ampliamente, mientras que otros, más recientes, sólo empiezan a popularizarse. El modelo busca integrar variables de tipo cuantitativo y cualitativo en un sistema dinámico, en el que las variaciones en alguna de ellas tienen un impacto positivo o negativo sobre las otras (p. VIII).

En su informe de tesis doctoral Gajate (2010) "Modelado y control neuroborroso de sistemas complejos. Aplicación a procesos de mecanizado de alto rendimiento" describe: "Algunas de las técnicas utilizadas en los últimos años para modelizar

sistemas complejos se basan en la descripción mediante ecuaciones diferenciales, mediante representaciones en variables de estado, mediante matrices de transferencia (continuas o discretas), etc. Sin embargo, existen muchos procesos en los cuáles no resulta sencillo obtener estas ecuaciones y, si es posible, su validez suele ser muy limitada.

Sobre la aplicabilidad de los modelos planteados Agustín Gajate (2010), expresa: Este trabajo presenta una metodología para el diseño y la implementación de un sistema de control inteligente y de un sistema de monitorización inteligente. Esta metodología se aplica con éxito a procesos de gran complejidad. Para ello, se propone un procedimiento basado en el modelado neuroborroso del proceso en cuestión. Los modelos se obtienen a través de un proceso de identificación en el cual se utilizan datos entrada-salida representativos del sistema a estudiar. Una vez se han obtenido los modelos que describen la dinámica del proceso, éstos se utilizan como base de los propios sistemas de monitorización y control (p. i).

De igual manera Agustín Gajate manifiesta: “El empleo de técnicas de Inteligencia Artificial en el modelado, la monitorización y el control ha sido consecuencia, en buena medida, de que las técnicas clásicas y avanzadas no han producido en algunos casos los resultados deseados y se han mostrado efectivas sólo en las condiciones teóricas de diseño. Generalmente, las prestaciones que nos ofrece el uso de técnicas clásicas y avanzadas se deterioran considerablemente en presencia de incertidumbre y de no linealidades. Por contra, las técnicas de Inteligencia Artificial poseen teóricamente la capacidad o habilidad para actuar de forma apropiada en presencia de incertidumbre, imprecisión, variación en el tiempo, etc. Por ello, los sistemas de modelado, monitorización y control han aprovechado las posibilidades que nos ofrecen esta clase de técnicas.” (p. 22).

| Técnicas | |
|-----------------------|---|
| Lógica Borrosa | Modelado <ul style="list-style-type: none"> • (Fuzzy Modeling for Control) • (On local and fuzzy modelling) • (Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control) • (A technique for fuzzy logic modeling of machining process) • (Fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling) |
| | Monitorización <ul style="list-style-type: none"> • (Prediction of power requirement in turning using a GA-fuzzy approach) • (Turned surface finish prediction based on fuzzy logic theory) |
| | Control <ul style="list-style-type: none"> • (Fuzzy Modeling for Control) • (Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control) • (Current trends and future developments of new control systems based on fuzzy logic and their application to high speed machining) • (Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant) |

Figura 10: Técnicas de Inteligencia Artificial utilizando la Lógica Difusa en Aplicaciones de Modelado, Monitorización y Control

Nota. Fuente: Universidad de Salamanca, Agustín Gajate Martín, tesis doctoral Modelado y Control Neuroborroso de Sistemas Complejos. Aplicación a Procesos de Mecanizado de Alto Rendimiento (2010).

Martín Gajate (2010) expresa su apreciación de la Lógica Borrosa de la siguiente manera:

“El cerebro humano interpreta la información sensorial imprecisa e incompleta facilitada por los órganos perceptivos. La teoría de conjuntos borrosos proporciona un cálculo sistemático para hacer frente a dicha información lingüística, y realiza cálculos numéricos mediante el uso de etiquetas lingüísticas establecidas por funciones de pertenencia. Por otra parte, una selección de reglas borrosas “if-then” constituyen el componente clave del sistema de inferencia borroso (Fuzzy Inference System), que efectivamente puede modelizar la experiencia humana en una aplicación específica” (p. 24).

Martín Gajate (2010) menciona que una de las definiciones de soft computing la aporta el Profesor Lofti Zadeh en 1994, presentándolo como un sistema que:

“[...] aprovecha la tolerancia ante la imprecisión, la incertidumbre, y la veracidad parcial de los hechos con vistas a lograr un manejo adecuado, robustez, una solución de bajo coste y una mejor afinidad con la realidad” (Zadeh L. , Fuzzy logic = computing with words, 1996). Más tarde, en el año 1998, el propio Zadeh amplía esta definición afirmando que el soft computing es el lugar donde convergen todas las tecnologías emergentes del razonamiento (Zadeh L. , 1998). Ya en torno al año 2000, Bonissone et al. actualizan la definición de soft computing como el conjunto de metodologías computacionales que tiene entre sus principales miembros la lógica borrosa, la neuro computación, la computación evolutiva y la computación probabilística (Bonissone, Khedkar, Chen, & Goebel, 1999).

Martín Gajate (2010) sobre la Monitorización y Control de Sistemas Complejos describe:

“Se entiende aquí como optimización de sistemas complejos la incorporación de sistemas de monitorización y/o control para maximizar o minimizar un determinado índice de comportamiento o cifra de mérito en determinados procesos productivos. La fuerte competencia global existente en torno a los mercados productivos, a los mercados financieros, al campo de la investigación e incluso al sector servicios, obliga cada vez más a cualquier proceso complejo a ser más competitivo (bien aumentando su productividad, calidades u otra serie de características).

Sin embargo, las dinámicas existentes en los procesos complejos desempeñan un papel muy importante a la hora de diseñar cualquier sistema para optimizar y/o mejorar el propio proceso. Sobre todo, cuando el proceso complejo se desarrolla en tiempo real y bajo un entorno cambiante. De entre las posibles vías para la obtención de una mayor ventaja competitiva se encuentran el control y la monitorización de procesos. No obstante, ambas vías requieren la obtención de un modelo preciso del sistema objeto de estudio. La incorporación de los sistemas de monitorización y/o control ayudarán a la consecución de objetivos y al mantenimiento de un rendimiento adecuado bajo condiciones de procesos completamente variables en el tiempo (p. 30).

[...] La línea de investigación en Control Inteligente (que también abarca el modelado y la monitorización de procesos) nace hace cuatro décadas, alrededor del año 1975, con la intención de aplicar al control las técnicas de Inteligencia Artificial, las cuales comenzaban a despuntar por las posibilidades que ofrecían para incorporar el conocimiento de operadores expertos. Tal y como se ha mencionado anteriormente, la Inteligencia Artificial en sí misma es un campo muy amplio ya que abarca lógica, optimización, probabilidad, percepción, razonamiento, toma de decisiones y aprendizaje. Por su parte, el objetivo del Control Inteligente es integrar agentes inteligentes o sistemas inteligentes en los sistemas de control. El término “Sistemas Inteligentes” se utiliza para describir sistemas y métodos que emulan aspectos del comportamiento inteligente, con la intención final de aprender de la naturaleza y del comportamiento de los seres vivos para poder diseñar y construir sistemas computacionales más potentes. En palabras de M. Minsky, consiste en “el estudio de cómo programar computadoras que posean la facultad de hacer aquello que la mente humana puede realizar”, en otras palabras, sustituir a la mente humana en la toma de decisiones, planificación y aprendizaje (Minsky, 1956).

Rocío del Carmen Serrano-Barquín y otros autores; en su artículo científico, “La Complejidad, expresión de nuestro tiempo: El Turismo desde los Sistemas Complejos” (2012) realizaron las siguientes especificaciones:

La perspectiva actual de la complejidad ha rebasado la visión que entonces se tenía, soportada por el desarrollo científico. Las propuestas actuales sobre la complejidad despegan fundamentalmente a mitad del siglo pasado, con las obras de Claude Shannon, Norbert Wiener, John von Neumann, Heinz von Foerster y particularmente de Ludwig Von Bertalanffy, con la Teoría General de Sistemas (1976), a través de la cual establece los fundamentos para explicar los aspectos de unidad que caracterizan un cierto sistema organizado de constituyentes y que no pueden resultar de la simple consideración fragmentada de los mismos. Desde este punto de vista, un sistema se distingue de un simple conjunto de elementos que actúan de manera independiente, por la interrelación de los elementos, que definen las propiedades del todo que ninguna de las partes posee. Estas propiedades son destruidas cuando el sistema es diseccionado, ya sea física o teóricamente, en elementos aislados.

De igual manera describe: Para tener un panorama sobre la complejidad y su posterior análisis para la construcción de sistemas complejos, es necesario emprender un recorrido por los orígenes de la misma y su concepción actual para finalmente referenciar el objeto de estudio del turismo en esta perspectiva del conocimiento. Dicho recorrido implica llevar los componentes teórico-metodológicos de los sistemas complejos propuestos por Rolando García, al análisis de un estudio de caso como una forma de considerar los hallazgos de la investigación propuesta para el Doctorado en Estudios Turísticos: “Redes ambientales y su impacto en el desarrollo del turismo sustentable en el Parque Nacional Nevado de Toluca (Parque de los Venados): perspectiva teórico-metodológica desde los sistemas complejos”, a partir de la cual se pretende analizar y explicar el papel de los grupos ambientales y su conformación en redes vinculadas al desarrollo de proyectos de turismo sustentable en el área natural mencionada” (p. 4 - 6).

2.1.2 A nivel nacional.

En lo que respecta al Perú, Luis Cáceres (2007), en su publicación “Ordenamiento Territorial del Sur y su Relación con la Carretera Interoceánica” nos brinda algunas referencias y reflexiones importantes sobre el tema en el Perú; [...] la reconfiguración territorial obedece en primer lugar, al impacto de un proceso de globalización que modifica la matriz territorial alterando la clásica división entre departamentos concebidos como unidades menores; por la lógica de la expansión territorial basada en el modelo de crecimiento vigente y estructurado en regiones de diferente dimensión, sobre la base de economías de mercado, abiertas y descentralizadas, integradas tanto en el ámbito subnacional como en el supranacional.

La velocidad y signo de los cambios, están obligando a los países a una reingeniería económica basada en incrementar los niveles del conocimiento de

sus recursos humanos, de una reconversión productiva permanente dentro de sus territorios aprovechando peculiaridades y potencialidades propias, así como en una reorientación hacia los mercados externos. Como respuesta a este proceso inevitable, los países vecinos de la región han revitalizado los mecanismos de integración sub nacional, en base a agresivos procesos de regionalización, desconcentración y descentralización, con el objeto mejorar la utilización del espacio, de crear porciones territoriales mayores denominadas en algunos casos macro regiones, más orgánicas y mejor planificadas, articuladas por corredores económicos y ejes de desarrollo (Cáceres Angulo, 2007).

Al mismo tiempo se está promoviendo la vinculación supranacional bajo el concepto de privilegiar la articulación de súper regiones, dejando esquemas típicamente tradicionales basados en la dependencia de un centro distributivo o productivo, retroalimentando el aminoramiento de resistencias tradicionales en la delimitación de fronteras y la superación de los diferendos limítrofes, agregando una mayor complejidad a los factores que modifican la configuración territorial en cuanto a vinculación económica, comercial, poblacional, cultural y migratoria (Cáceres Angulo, 2007).

La necesidad de repensar la "cuestión territorial" bajo la nueva concepción de regiones conformadas como espacios socialmente construidos y definidas como territorios organizados, estructuralmente complejos, dotados de identidad y de cultura, cuyo tamaño tenga un porte medible y compatible con las restricciones de orden práctico, permite ponerse a tono con los requerimientos de los tiempos, los cuales tienen como argumento, la necesidad de adecuar la gestión del desarrollo regional a los nuevos parámetros impuestos por el orden político, económico e internacional, que privilegien una jerarquía regional basada en la libertad, competencia, inclusión, la libre asociatividad, la

concertación de intereses geo económicos y las alianzas estratégicas, evitando en todo momento la falta de pertinencia social (Cáceres Angulo, 2007).

De otro lado las estrategias geopolíticas y la lucha por alcanzar una mayor competitividad territorial, han dado a estos procesos una dinámica de cambio permanente, estableciendo criterios de competencia en las que existirán en el futuro “regiones ganadoras” y “regiones perdedoras”, “regiones pivotaes y regiones virtuales”, líderes y seguidores (Cáceres Angulo, 2007).

Sin embargo desde el punto de vista del gobierno nacional es fundamental “implementar la reforma y modernización del Estado desde el punto de vista de su territorialidad, administración, operatividad, y la promoción del desarrollo desconcentrado”, procurando ejercitar la articulación del territorio, poblaciones y objetivos nacionales geoestratégicos, (como crecimiento, competitividad, comercio internacional, erradicación de la pobreza y sustentabilidad) de modo equitativo, participativo e inclusivo manteniendo siempre el criterio unificado como país sólido y unido por mandato de la Constitución, pero al mismo tiempo diferenciándolo en cuanto a la idiosincrasias, peculiaridades, potencialidades y limitaciones de cada zona involucrada (Cáceres Angulo, 2007).

Finalmente y como corolario expresa, que existen muchos países que albergan muchos millones de personas en su territorio, que pertenecen al grupo mundial económicamente más desarrollado y que viven en el bienestar, el progreso, y que han alcanzado la prosperidad, usando los mismos ingredientes para alcanzar el desarrollo y el progreso. Han promovido la inversión productiva con tecnología de punta, abierto sus economías a la competencia del mercado, desarrollado sus infraestructuras internas, aumentado la productividad de sus

empresas, ampliado el conocimiento y bienestar de sus poblaciones, educándolas y dándoles cobertura de salud, seguridad, justicia y previsión (Cáceres Angulo, 2007).

Sin embargo también es cierto que dentro de este panorama, es importante establecer y recordar que en el mundo, el problema del hambre, la pobreza y del subdesarrollo, no será resuelto sólo con las fuerzas del mercado, sino con la implantación de un sistema de intercambio más equitativo y justo, donde las inversiones, los flujos financieros y el comercio internacional creen oportunidades, fuentes de trabajo y no sean factores de exclusión, desunión económica y social actuando en todo momento con responsabilidad social y medio ambiental (Cáceres Angulo, 2007).

El proceso de regionalización que se trató de implementar en la mayoría de países del mundo, y muy especialmente en América Latina a partir de los años sesenta, no logró definir ni articular en un mismo marco, los problemas de la distribución del espacio con aquellos principios de naturaleza territorial y de orden práctico para el impulso al desarrollo. Hasta los años setenta, todavía perduraba la forma de crecimiento de la posguerra y la planificación regional respondía a modelos y problemas que el desarrollo latinoamericano enfrentaba en el periodo, entre ellos la concentración productiva y poblacional en las zonas metropolitanas y la conformación de polos de desarrollo sobre la base del liderazgo de alguna industria protegida por mecanismos mercantilistas (Cáceres Angulo, 2007).

La nueva configuración territorial en el contexto internacional que hoy percibimos, modifica sustancialmente los esquemas como resultado de procesos exógenos y endógenos que sufrieron las poblaciones, en cuanto a los aspectos

económicos, sociales, políticos, culturales. Esto produjo inicialmente movimientos migratorios de sus poblaciones, nueva localización de sus actividades económico-productivas, y posteriormente cambios en los mecanismos e instrumentos de planificación y gestión a nivel de gobiernos locales y regionales (Cáceres Angulo, 2007).

2.1.3 A nivel local.

A nivel local sobre al proceso del ordenamiento territorial se han involucrado un grupo de instituciones pública y privadas, lideradas por el Gobierno Regional de Cajamarca (2017), han trabajado conjuntamente recibiendo asistencia técnica por parte de la Cooperación Internacional Alemana (GIZ), de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), y ONGs, sobre la aplicación de la lógica difusa en trabajos de investigación, no se ha identificado ninguna.

En la Región Cajamarca el proceso de ordenamiento territorial se inició en el año 2004 con la creación de un Grupo Técnico. En el año 2006 se emitió la Ordenanza Regional que declara de interés regional el Ordenamiento Territorial e indica qué instituciones integrarán la Comisión Técnica Regional de ZEE. En el año 2007, se firma el convenio Marco de Cooperación con el Programa de Desarrollo Rural Sostenible de la GTZ. A fines del año 2009, ya se encontraban disponibles una serie de mapas temáticos en la plataforma SIG del gobierno regional. En cuanto a normatividad se elaboraron dos documentos de trabajo considerables: “Análisis comparativo de normatividad jurídica peruana sobre ordenamiento territorial” y “Lineamientos de políticas para procesos de ordenamiento territorial a nivel regional”. Ambos documentos se presentaron al

pleno de la Comisión Técnica Regional y permitieron tener un marco de referencia legal, para el mejor entendimiento del proceso. Otras experiencias de ordenamiento territorial a nivel provincial y de cuencas se han llevado a cabo para la provincia de San Pablo, Cajamarca, Jaén, San Marcos y Hualgayoc; y para las cuencas del Cascacén y Muyoc. Todas ellas, contando con la colaboración de organismos no gubernamentales y agencias de cooperación internacional (Gobierno Regional, 2017).

El gobierno regional de Cajamarca inició el proceso de ordenamiento territorial (OT), con el apoyo de la Cooperación Internacional Alemana (GIZ) y de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), y ONGs que brindarán asistencia técnica (Gobierno Regional, 2017).

El proceso requirió de un diagnóstico y perspectivas del territorio, para luego continuar con la visión de desarrollo y diseño de políticas estratégicas, en los que participarán concertadamente los sectores público y privado, y la sociedad civil, a través de la Comisión Técnica Regional (Gobierno Regional, 2017). En este nuevo proceso, al igual que en la ZEE, también participan las empresas mineras que operan en Cajamarca a través del Grupo Norte. Se destaca que el objetivo del OT es trabajar en las perspectivas de desarrollo del territorio, revertir lo negativo y alentar lo positivo. Ver el tema de la disponibilidad hídrica, los peligros del cambio climático, la pobreza, migración, etc. “Ver cómo está Cajamarca ahora y cómo será en 2021 - 2030”. La idea fue determinar las potencialidades para aprovecharlas en beneficio de las comunidades” (Gobierno Regional, 2017).

El Instituto para la Conservación y Desarrollo Sostenible “Cuencas”, ETC Andes, Agencia Suiza Para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE, tiene contribuciones al

trabajo del ordenamiento territorial en la provincia de Cajamarca, una exposición de su trabajo está en la revista BioAndes (Cuencas, ETC Andes, & COSUDE).

2.2 Marco epistemológico

Iniciamos este apartado citando a la Dra. Castillo (2013), responsable del curso Filosofía de la Ciencia en la Escuela de Posgrado en La Universidad Nacional de Cajamarca, quien nos presenta en forma gráfica la Epistemología del siglo XX - La matriz diacrónica hasta 1970 y La epistemología en los últimos 16 años – Las Áreas problemáticas (comunicación personal, 20 de abril 2013), figuras 11 y 12.

Resalta en la presentación el racionalismo del siglo XX estableciendo: “Los procesos científicos a la luz de la Inteligencia Artificial, la robótica, los lenguajes formales y la filosofía del lenguaje”.

La descripción relaciona los antecedentes al paradigma de la complejidad, la Teoría de la Lógica Difusa y su relación con la Inteligencia Artificial.

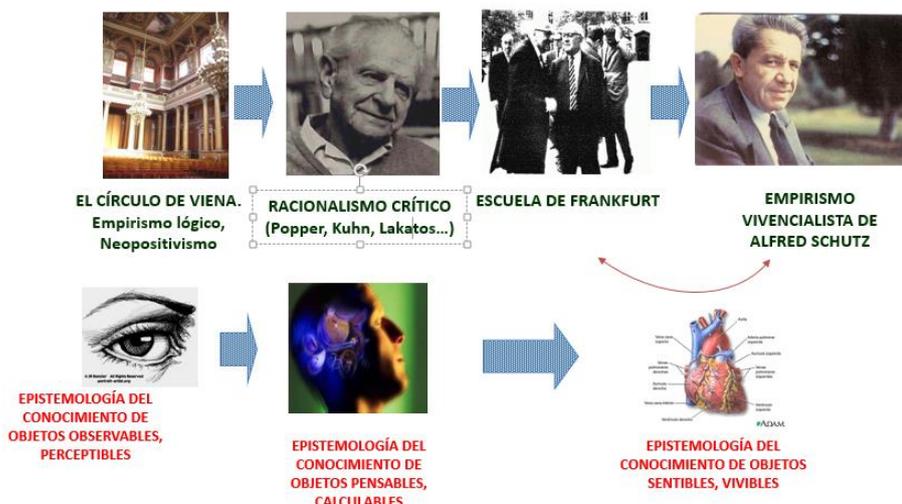


Figura 11. Epistemología del siglo XX. La matriz diacrónica hasta 1970

Fuente: Escuela de Pos Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Dra. Carmen Castillo Díaz. Curso: Filosofía de la Ciencia (2013).

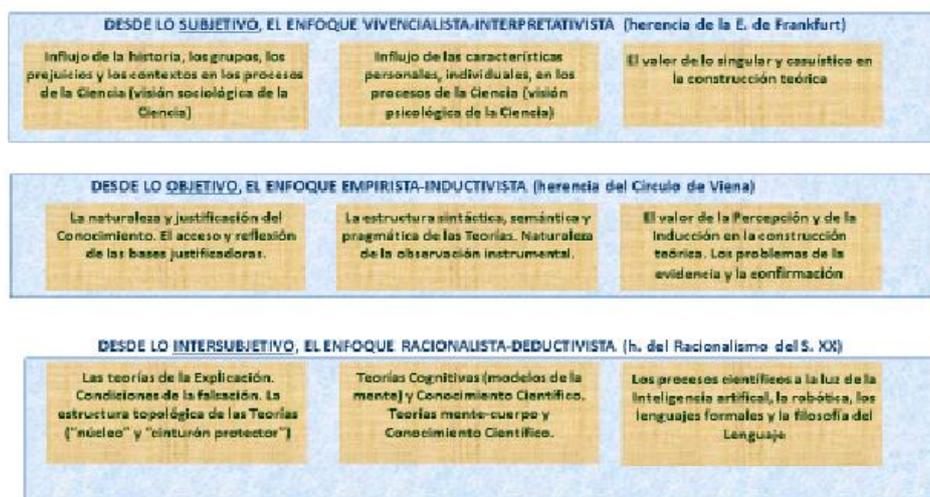


Figura 12. La epistemología en los últimos 16 años – Las Áreas problemáticas

Fuente: Escuela de Pos Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca. Dra. Carmen Castillo Díaz. Curso: Filosofía de la Ciencia (2013).

En los siguientes párrafos hacemos una descripción de los antecedentes más importantes al surgimiento y soporte actual del paradigma de la complejidad y la teoría de la lógica difusa.

La lógica difusa como teoría es presentada por Zadeh (1965), quien nos describe toda una notación matemática, muy útil para el desarrollo de sistemas expertos en base al algebra de predicados, logrando el razonamiento aproximado. Sus fundamentos retoman relativa importancia por los años 1980, debido al desarrollo de los sensores y ordenadores que dan soporte a aplicaciones muy importantes y que cada vez su uso va en aumento, en casi todas las disciplinas de la ciencia.

Moreno, (2002) describe que:

“Desde el siglo XII a.c. se manifestaban planteamientos sobre el cosmos, el orden de la naturaleza, así como lo incierto del conocimiento humano. En la época de los grandes pensadores griegos, en donde se propugnó por el racionalismo, aquellos quienes hacían alguna referencia al todo a partir del caos o del papel constructivo del desorden, eran calificados de ignorantes e insensatos”.

El paradigma de la complejidad basado en el pensamiento complejo tiene en Morin (2004) a uno de sus más importantes propulsores, quien nos expresa que las prácticas clásicas del conocimiento son insuficientes “[...] el pensamiento científico contemporáneo intenta leer la complejidad de lo real bajo la apariencia de simple de los fenómenos. De hecho no ha fenómeno simple” (p. 1).

Morin (2004) comenta que a la complejidad le ha costado emerger porque la complejidad no ha sido debatida y puntualmente expresa “[...] La bibliografía sobre la complejidad es, al menos por lo que yo conozco, muy limitada”, sin embargo cita a: Weaver, Von Newman, Foerster, Simon, Henri Atlan y Hayek como científicos que contribuyeron con aportes importantes al pensamiento.

Los principios sobre los cuales construye Morin el paradigma de la complejidad, tienen que ver con el principio de recursividad organizacional, el principio dialógico y el principio hologramático.

Ballester y Colom (2006), en su artículo “La lógica difusa: una nueva epistemología para las Ciencias de la Educación” nos describe que:

“ [...] la lógica difusa no brinda la posibilidad de armar de una forma más fiel una epistemología de representación al tipo de fenómeno que estudia las ciencias de la educación”, afirmación que ya se viene dando con éxito en el campo de la ingeniería, lo cual ha dado soporte a toda la rama de la inteligencia artificial, debido a los conceptos de representación que nos brinda la lógica difusa y que ha permitido su aplicación en diferentes campos incluyendo la economía concordando con: “El modelo matemático de la lógica difusa es una primera herramienta para aproximar la epistemología pedagógica a los fenómenos que son de su competencia” .

Negoita (1978), anota: “La lógica difusa como un enfoque de complejidad” brindándonos un contexto más amplio y real para la solución de los problemas en diferentes disciplinas.

Rose (1978), describe “[...] en el IV Congreso Internacional de Cibernética y Sistemas, celebrado en Ámsterdam, la sesión 8.ª estuvo dedicada a trabajos sobre *fuzzy sets*, presentándose hasta 18 comunicaciones (citado por Ballester y Colom. 2006, p.996).

García R. (2006), fundamenta sus aportes al proceso de generación y fortalecimiento del pensamiento complejo con sólidos fundamentos, describe lo siguiente:

[...] “de las crisis epistemológicas -la crisis del apriorismo y la crisis del empirismo- surgen las posiciones constructivistas que llegan a su forma más acabada

con la Epistemología Genética de Jean Piaget, uno de los componentes que inspiran nuestro marco conceptual y metodológico, Jean Piaget ha sido reconocido por sus extraordinarios aportes a la psicología, pero su contribución a la teoría del conocimiento es mucho menos conocida. Se trata de la única teoría constructivista del conocimiento, de carácter científico, es decir, independizada de la filosofía especulativa, basada y validada empíricamente”.

En lo que respecta a las posiciones metodológicas de los investigadores con relación a la complejidad Garcia R (2006) comenta:

“[...] el desorden y el devenir para explicar la realidad ha implicado dejarse llevar por las falacias del pensamiento. Hasta hace poco la posibilidad de pensar el desorden, lo aleatorio, la incertidumbre, el devenir, implicaba una cuestión fuera del ámbito científico. Tampoco existía una perspectiva clara de cómo estos conceptos podrían explicar fenómenos naturales y sociales”.

“El marco epistémico está orientado por una normatividad extra disciplinaria de contenido social que involucra qué es lo que "debería hacerse" y que sirve de base a la investigación posterior (desde la elección inicial de "observables")” (p. 106).

“El desafío que el estudio integrado de sistemas complejos plantea a los científicos, en particular en el caso de problemas ambientales, es la detección y el análisis de los mecanismos de deterioro físico y social. Sin ese conocimiento no es posible orientar la búsqueda de políticas alternativas” (p. 108).

“Las dos características que hemos mencionado -la primacía de las relaciones y la matematización otorgan a la revolución científica del siglo XVII una significación muy especial. El cambio más profundo no consistió en la introducción de una nueva metodología, sino en una nueva concepción del mundo y de la ciencia que lo estudia” (p. 114).

“Ni Marx ni Piaget sabían que estaban descubriendo, en las ciencias sociales, los mecanismos de evolución de sistemas disipativos [...]. Piaget se enteró hacia el final de su vida” (García, 2006).

Como parte de la construcción del marco teórico y doctrinal se cita a Carnap y Piaget: García R. (2000) “[...] logró amalgamar los fundamentos de una propuesta de sistemas complejos, relacionada con aspectos ambientales, a través de la epistemología genética que el propio Piaget llevaría a niveles de una teoría constructivista del conocimiento”.

El enfoque de una investigación como sistemas complejos que Rolando García establece, ha sido validado conceptualmente por muchos investigadores contemporáneos.

“La epistemología genética como su fundamento teórico y en la experiencia su metodología [...]” (Serrano-Barquín, Cruz Jiménez, Arguello Zepeda, Osorio García, & Sánchez Barreto, 2012, p. 7 - 9).

Domingo Gómez Orea,; Alejandro Gómez Villarino, (2013), describen:

“Solidaridad temporal: con las generaciones futuras, y espacial: con otras zonas; respetuoso con los criterios que definen la racionalidad en el uso de los recursos del entorno. Consideración no utilitaria de la naturaleza, para reconocerla como patrimonio de todos, lo que no implica una negación del desarrollo económico sino un control de éste para garantizar el equilibrio ecológico ahora y en el futuro”.

En este sentido, la postura que se asume en la presente investigación es el de la complejidad y se fundamenta en los preceptos expuesto en el presente punto que como

se ha señalado, se establece que la complejidad está asociada con la imposibilidad de considerar aspectos particulares de un fenómeno, proceso o situación a partir de una disciplina específica (García, 2006); es decir, debe ser considerada no solo por la diversidad de las partes que constituyen los procesos o fenómenos de la realidad, sino además y sobre todo, por la interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que desempeñan dentro de una totalidad.

2.3 Marco doctrinal de las teorías

El marco doctrinal asociada al pensamiento complejo, inteligencia artificial y lógica difusa es el de la complejidad. Es importante resaltar que algunos investigadores están fundamentando a la lógica difusa e inteligencia artificial también marcos doctrinales.

Como se describió en la exposición del proceso epistemológico de la doctrina de la complejidad, en los últimos años se inició y se mantiene en debate, a la vez que se observa que, cada día más investigadores involucran sus preceptos en sus diseños investigativos, desarrollando y aportando con sus aplicaciones dentro de este marco.

Para mostrar la relación entre los aspectos epistemológicos que dan soporte al pensamiento complejo como paradigma, mostramos la figura 13, presentado por Dra. Castillo (2013), , responsable ella del curso Filosofía de la Ciencia en la Escuela de Posgrado en La Universidad Nacional de Cajamarca, (comunicación personal, 20 de abril 2013) en la que se detalla los aspectos epistemológicos de los paradigmas de la Ciencia.

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|---|---|---|--|---|
| EPISTEMOLÓGICO ¿De qué manera se relaciona el investigador con los investigados? | Independencia sujeto-Objeto | Interacción Sujeto-Objeto, se afectan implican e interrelacionan por factores subjetivos. | Relación influida por el compromiso. El investigador es un sujeto más. Relación dinámica sujeto-objeto. Realidad en la que la parte es condensación de múltiples determinaciones, cambiante y real. Investigador sensible y con compromiso para el cambio. | Integra al sujeto y al objeto, se funden. Sujeto y objeto dialogan. |

Figura 13. Aspectos Epistemológicos de los Paradigmas de la Ciencia

Fuente: Escuela de Pos Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. Filosofía de la Ciencia. Dra. Carmen Castillo Díaz (2013).

Figura que muestra los aspectos conceptuales de los diferentes paradigmas de la ciencia, destacando que en el paradigma de la complejidad se integra al sujeto y objeto de estudio en el proceso de investigación.

De igual manera presentamos las figuras 14, 15 y 16 correspondiente a los aspectos ontológicos, aspectos axiológicos y Sustentos Teóricos de los Paradigmas de la Ciencia, que de manera didáctica muestra la Dra. Castillo (2013), responsable ella del curso Filosofía de la Ciencia en la Escuela de Posgrado en La Universidad Nacional de Cajamarca, (comunicación personal, 20 de abril 2013).

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|---|--|--|---|--|
| ONTOLÓGICO ¿Cuál es la naturaleza de la realidad? | Objetiva, estática, única, dada, fragmentable, medible, verificable, generalizable y predecible. | Subjetiva, dinámica, holística, múltiple, crítica, construida, divergente, comprendida | Compartida, histórica, construida, dinámica, divergente, totalizadora. Totalidad orgánica en constante devenir. El todo está en la parte y la parte es condensación diferencial del todo. | Compleja, incierta, multi determinada, holística, totalizadora |

Figura 14. Aspectos Ontológicos de los Paradigmas de la Ciencia

Fuente: Escuela de Pos Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. Filosofía de la Ciencia. Dra. Carmen Castillo Díaz (2013).

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|---|--|--|--|---|
| AXIOLÓGICO ¿De qué manera participan los valores en la investigación? | Neutros. Investigador libre de valores. Neutralidad política. Investigación sin acción inmediata | Explícitos influyen en la investigación: en la selección del problema, teoría, método y análisis | Compartidos, ideología compartida y crítica. Igualitarismo | Correlación entre ciencia, valor y responsabilidad. |

Figura 15. Aspectos Axiológicos de los Paradigmas de la Ciencia.

Fuente: Escuela de Pos Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. Filosofía de la Ciencia. Dra. Castillo (2013).

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|------------------|---|---|------------------------------|-----------------------------|
| SUSTENTO TEÓRICO | Positivismo lógico, empirismo, realismo | Fenomenología, Teoría interpretativa, etnografía, interaccionismo simbólico | Marxismo, Teoría crítica | Pensamiento complejo |

Figura 16. Sustentos Teóricos de los Paradigmas de la Ciencia

Fuente: Escuela de Pos Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. Filosofía de la Ciencia, Castillo (2013).

Estas ilustraciones, muestran los aspectos ontológicos, axiológicos y teóricos de los paradigmas de la ciencia, para determinar la naturaleza de la realidad y participación de los valores en los procesos de investigación.

Como se ha presentado y expuesto, la ingeniería de control sustentó la generación del servomecanismo y la realimentación (Senge, 1998), y estas teorías sustentaron a la teoría de sistemas (Bertalanffy L. , 1976) y todos estos actualmente soportan a la inteligencia artificial.

Es así que la inteligencia artificial actualmente, tiene como soportes teóricas a la lógica difusa, algoritmos genéticos y las redes neuronales entre las más importantes.

Diferentes investigadores vienen contribuyendo al soporte del paradigma de la complejidad y la lógica difusa, con sus estudios e investigaciones, entre los más importantes tenemos:

Aracil & Gordillo (1995), describe:

“El enfoque sistémico y la simulación proporcionan los elementos teóricos y metodológicos, necesarios para representar los problemas públicos y sus soluciones potenciales de forma simplificada, problemas latentes y no resueltos en nuestro actual contexto social; pero conservando algunas de las relaciones complejas existentes, de forma tal que la representación de la realidad social y los comportamientos de las variables relevantes sean tan cercanos a la realidad como sea posible.

Representado el problema en términos sistémicos y programados en un modelo de simulación, permite la evaluación de diferentes alternativas y proporciona estimaciones de los impactos, permitiendo que se tomen mejores decisiones sin los costos de experimentos reales”.

Fritjof Capra (1996), también se erige como uno de los referentes para el análisis de la complejidad, desde la física y la teoría de sistemas. El desarrollo de su propuesta abarca la visión de los sistemas evolutivos, la teoría de Gaia, hasta llegar a construir lo que se conoce como la alfabetización ecológica y que actualmente deriva en un modelo de aprendizaje integral, Center for Ecoliteracy, fundamentado en la educación para una vida sostenible, ayudando a niños y jóvenes a desarrollar el conocimiento, habilidades y valores que les permitan armonizar las necesidades humanas con el ambiente.

La perspectiva de la complejidad ofrece distintos enfoques de cómo abordar la realidad. Algunos de ellos, implican volver la vista al misticismo de oriente, en tanto otras -las más influyentes en la actualidad-, cimentan su validez científica en el uso de la tecnología, específicamente de las computadoras. De esta manera, la complejidad en uno u otro sentido, se ha hecho presente en la historia del pensamiento a través de

creencias, convicciones e incluso herramientas, que le han dado hasta nuestros días el estatus de nuevo paradigma.

La diferencia entonces entre la noción de complejidad derivada de los primeros pensadores, hasta la referencia de los científicos contemporáneos, se puede considerar como un proceso de construcción y deconstrucción, que el sujeto va experimentando a partir de sus experiencias y hallazgos sobre su objeto de investigación.

En concordancia con lo expuesto, Jorge Bracho, (2001) comenta sobre el paradigma de la complejidad:

“Al lado de lo ético, se encuentra la necesidad teórica del compromiso con los principios epistemológicos de la complejidad, o más bien con una percepción de la historia en clave anisótropa. Esto viene a ser una historia cuyas propiedades representativas son distintas, diversas, en las direcciones que implican. El pensamiento complejo tiene como uno de sus principios fundamentales una forma de comprensión que propugna una visión compleja del universo físico, biológico y antropológico. En cuanto al objeto de estudio éste se asume como un sistema de auto organización porque une al objeto de estudio con el sujeto que los estudia. El objeto de análisis es apreciado como algo en constante desarrollo y regulado por las mismas funciones epistemológicas propuestas por el sujeto cognoscente. Por esto se dice que el pensamiento complejo no mutila los hechos y eventos del mundo. Por ser las pruebas de refutación–verificación principios constituyentes de la complejidad, esas mismas pruebas impiden que las teorías deriven en doctrinas” (p. 17).

“La noción de verdad se asume por el reconocimiento del error, el engaño, la manipulación y la parcialidad. La singularidad, la particularidad, la especificidad, no pierden sentido dentro de la universalidad, porque se reconoce su desenvolvimiento dentro de un conglomerado cargado de relaciones e interrelacionada con otros elementos. La idea de auto organización concita la idea de una causalidad compleja, a la vez que integra la problemática de lo aleatorio, lo contingente, el albur. Esta

disposición reconoce la diversidad, el desorden, el caos, la incertidumbre, al proponer una lógica probabilística. De aquí se deriva que un sistema puede seguir diversas vías para alcanzar el mismo resultado y que en sistemas semejantes las mismas causas pueden provocar efectos diferentes. En términos generales pudiera considerarse que asume la lógica como el reino de lo inesperado, lo impredecible, la ambigüedad, la contradicción, el error”.

“La apuesta por lo complejo no implica una nueva percepción doctrinaria. Implica, más bien, el reconocimiento de una realidad plagada de situaciones incalculables y no propicias de control. No es de ningún modo la asunción esnobista de concepciones provenientes de Europa. Se trata de reconocer que lo que se ofrece como conocimiento es parte de elaboraciones subjetivas con intereses particulares, no siempre en sentido de convivencia colectiva. Lo deseable sería pensar el mundo con otras representaciones, donde la simplicidad sea sustituida por la complejidad. Debemos luchar por categorías adecuadas más allá de las consabidas de tiempo y espacio, debemos ir por el camino de la superación de los términos crisis y transición. Ambos términos remiten al pensar teleológico, aluden a un concepto único de tiempo, así como un concepto correcto de espacio, siempre en un sentido progresivo. Disposición lógica que el mismo desenvolvimiento histórico se ha encargado de desmentir” (p. 18).

García R. (2006), describe lo siguiente:

“Desde esta perspectiva, los sistemas complejos se pueden “reducir” a términos de los sistemas simples con ayuda del computador. Este argumento es un proceso de reducción que problematizó la filósofa Naomi Oreskes (2002), estableciendo que lo que se puede verificar lógicamente y matemáticamente en el computador son los sistemas cerrados, pero que los sistemas naturales son abiertos y, por tanto, nuestro conocimiento de ellos sólo puede ser aproximativo”.

“[...] el universo estratificado y el universo no-lineal. El primero, referido a la idea de que el universo está constituido por las mismas leyes y formas de organización que gobiernan todos los dominios y fenómenos, uniformidad que ha tenido que desplegar una idea basada en que el mundo físico se encuentra constituido en diferentes niveles de

organización y en cada nivel rigen dinámicas específicas que interactúan entre sí. El segundo, no se rige por leyes generales o universales, está caracterizado por la integración de totalidades (sistemas), cuyas transformaciones en el transcurso del tiempo, responden a la evolución no-lineal con discontinuidades estructurales que procede por sucesivas reorganizaciones y en el cual, a su juicio, se han desarrollado las denominadas "ciencias de la complejidad", posturas que deben su desarrollo a la aparición de las computadoras como una forma de atacar los problemas que estaban fuera del alcance de los modelos matemáticos. Si bien esta última visión ha ayudado a comprender los procesos no-lineales, también en su enfoque, deja entrever una importante tendencia a la excesiva referencia a las computadoras como instrumento para solucionar las interacciones entre fenómenos".

"[...] hay sin embargo, una característica muy notable que ha emergido tanto a través del estudio de sistemas dinámicos como del análisis cualitativo de procesos no-lineales que son reducibles a modelos matemáticos. Progresivamente se ha puesto de manifiesto que fenómenos de muy diversa naturaleza, que pertenecen al dominio de diferentes disciplinas y que, desde el punto de vista de una descripción puramente fenomenológica, parecerían no tener nada en común, presentan una gran similitud en lo que respecta a su evolución temporal. Tales fenómenos integran totalidades (sistemas) cuyas transformaciones en el transcurso del tiempo responden a una ley muy general: evolución no-lineal, con discontinuidades estructurales, que procede por sucesivas reorganizaciones. El principio de estratificación y la no-linealidad de los procesos evolutivos tienen antecedentes históricos (aunque sin esos nombres y sin esa sistematización) en disciplinas tan diversas como la Biología; la Economía Política de Marx, la Teoría Psicoanalítica de Freud y la Epistemología Genética de Piaget" (p. 75).

"La Escuela de Bruselas, dirigida por Ilya Prigogine ha liderado estos desarrollos a partir de la termodinámica de los procesos irreversibles ha logrado establecer una teoría de los sistemas disipativos que ha conducido, a nuestro juicio, a uno de los avances más espectaculares de ciencia contemporánea. Se trata, de estudiar los fenómenos dentro de su propio dominio, con sus características específicas. Esto no es obstáculo para haber descubierto mecanismos que son comunes a los más diversos sistemas que correspondan a propiedades estructurales". .

Rocío del Carmen Serrano (2012) describe:

“El surgimiento de nuevos paradigmas para comprender y transformar la realidad, ha sido una constante en el ser humano con respecto a la búsqueda de respuestas a las interrogantes y planteamientos derivados del desarrollo del conocimiento.

Para tener un panorama sobre la complejidad y su posterior análisis para la construcción de sistemas complejos, es necesario emprender un recorrido por los orígenes de la misma y su concepción actual para finalmente referenciar el objeto de estudio

En lo fundamental el uso de las teorías planteadas por Rolando García: La complejidad, como una manera distinta de entender y explicar la realidad, ha rebasado el umbral establecido desde el pensamiento antiguo, hasta teorías como las de sistemas, información y cibernética. Nuevos caminos ha seguido la investigación y su inserción en las ciencias sociales. Así es como se identifican los antecedentes de la complejidad como un paradigma alternativo, La idea del tránsito de la complejidad a los sistemas complejos, como una forma de representación de la realidad, no es lineal”, (p. 4).

Ilya Prigogine (1998), introdujo la idea de organización a partir del desorden desde la termodinámica, la bioquímica y la microbiología, así como de conceptos como las estructuras disipativas y la flecha del tiempo. El aporte fundamental de la teoría de Prigogine consiste en poner de manifiesto que la naturaleza posee la capacidad de generar nuevas estructuras, diferentes de la simple agregación de componentes, lo cual constituye una valiosa ayuda para advertir las deficiencias de la cosmovisión mecanicista. Cita a Maturana y Varela (1997), quienes propusieron conceptos como “autopoiesis” y “acoplamiento estructural” para explicar la idea de la auto organización desde la biología, además de contribuir a la comprensión del problema epistemológico de la reflexividad y del conocimiento. Complementa:

[...] grupos interesados en la temática como se derivan ciertas tendencias a través de El Instituto de Santa Fe, escuela que principalmente se inspira en la teoría del caos, la geometría topológica, la teoría de fractales y las nuevas lógicas. Considera conceptos como la incertidumbre, lo irregular, el evento y la emergencia del orden a partir del desorden. Se concibe una realidad jerarquizada en donde aparecen sistemas simples ordenados, sistemas complejos y sistemas caóticos o desordenados, en diferentes niveles.

Agustín Gajate (2010) describe:

“[...] el modelado es visto como la conjunción de un conocimiento profundo acerca de la naturaleza del sistema y de un conocimiento profundo acerca de su comportamiento. [...] Sin embargo, el hecho de requerir una buena comprensión de los fenómenos físicos que se producen en el problema en cuestión, resulta ser un factor muy limitante en la práctica, ya que los sistemas en consideración suelen ser sistemas complejos y poco conocidos (comprendidos). Evidentemente, las dificultades encontradas en el modelado convencional (caja blanca) pueden surgir, por ejemplo, de la escasa comprensión de los fenómenos subyacentes, de los valores inexactos de diversos parámetros del proceso, o de la complejidad del modelo resultante. En la mayoría de los sistemas reales es prácticamente imposible tener una comprensión completa del mecanismo subyacente. Por otra parte, la recopilación de un grado aceptable de conocimientos necesarios para el modelado físico puede ser una tarea muy costosa, muy difícil y que puede consumir bastante tiempo. Incluso en los casos en los cuales se consigue determinar la estructura del modelo, el problema se mantiene debido a la dificultad existente para obtener los valores precisos de los parámetros del modelo” (Sjoberg, y otros, 1995).

[...] “modelado de procesos complejos. De esta manera, las dinámicas del proceso que son bien conocidas pueden representarse utilizando la física y la ingeniería del conocimiento, y las características menos conocidas se pueden describir o aproximar a través del método “caja negra”, utilizando datos del propio proceso. Este nuevo enfoque se conoce como modelado híbrido o “caja gris”” (Bohlin, 1994, p. 86).

Como lo trata de explicar el paradigma de la complejidad, la discusión del paradigma está vigente, en constante cambio, movimiento e intercambio de energía, características que son analizadas y explicadas por la teoría de sistemas y su ampliación como sistema complejo que ha originado toda una corriente paradigmática en la actualidad construyendo modelos y patrones para su estudio. Los sistemas complejos, como paradigma ya se ha posicionado, en los fundamentos teóricos de los pensadores más importantes de la época actual y se los presenta y amplía en las referencias del presente trabajo.

2.4 Marco conceptual

2.4.1 Lógica Difusa.

Klir y Yuan (1995) describe:

“La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos.

La lógica difusa, Zadeh (1965), es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa. Es una lógica multivaluada que permite valores intermedios”.

2.4.2 Conjunto Difuso.

Zimmermann (1996) define formalmente:

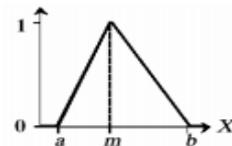
“Los conjuntos difuso como: $A = \{x, \mu_A(x)\}$, $x \in X$, donde $\mu_A(x)$ se denomina la función de pertenencia (o grado de pertenencia) de x en \tilde{A} , y $\mu_A: X \rightarrow M$ es una función de X en un espacio M denominado espacio de pertenencia. Cuando el espacio de pertenencia sólo contiene los dos puntos 0 y 1, \tilde{A} no es difusa y $\mu_A(x)$ es idéntica a la función característica de un conjunto no difuso, $\mu_A(x)$ es una función cuyo rango es un subconjunto de los números reales no negativos y que tiene la propiedad de que el supremo de este conjunto es finito. Así, la presunción básica es que un conjunto difuso \tilde{A} , a pesar de la imprecisión de sus límites, se puede representar con precisión asociándole a cada punto x un número entre dos límites inferior y superior, por ejemplo 0 y 1, que representan su grado de pertenencia en A .

Funciones de Membresía.

Las funciones de membresía representan el grado de pertenencia de un elemento a un subconjunto definido por una etiqueta”.

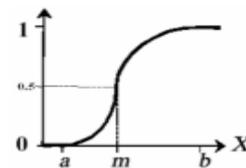
Forma Triangular

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



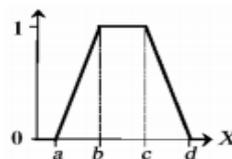
Forma S

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (a, m] \\ 1 - 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



Forma Trapezoidal

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \vee (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a, b] \\ 1 & \text{si } x \in (b, c) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \in (c, d) \end{cases}$$



Forma singleton

$$A(x) = \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & x \neq a \end{cases}$$



Figura 17. Funciones de Membresía

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

| Función | Expresión |
|----------------|--|
| Gaussiana | gaussmf(dominio, [σ , centro]) |
| forma π | pimf(dominio, [a, b, c, d]) |
| Sigmoide | sigmf(dominio, [amplitud, centro]) |
| forma S | smf(dominio, [a, b]) |
| Trapezoidal | trapmf(dominio, [a, b, c, d]) |
| Triangular | trimf(dominio, [a, b, c]) |
| forma Z | zmf(dominio, [a, b]) |

Figura 18: Funciones de pertenencia implementados en el Matlab

Nota: Fuente: Guía de usuario de matlab (2017).

2.4.3 Función característica de los Conjuntos Difusos.

Klir y Yuan (1995), establecen que:

“La función característica de un conjunto difuso asigna un valor de 1 ó 0 a cada elemento en el conjunto universal; 1 a los que son miembros de la relación y 0 a los que no. Esta función puede ser generalizada de tal manera que los valores asignados a los elementos del conjunto universal estén dentro de un rango, especificando con este el grado de adhesión de estos elementos en el conjunto en cuestión. Los valores más altos indican un mayor grado de afiliación. Esa función se llama una función de pertenencia” (p. 390 - 417).

2.4.4 Operaciones sobre conjuntos difusos.

Correa J. (2004) define:

“Dentro de las operaciones más importantes en los conjuntos difusos, se destacan la unión, intersección, negación y complemento las cuales se explican a continuación.

Dados dos conjuntos difusos A y B en el mismo universo X, con funciones de pertenencia μ_A y μ_B respectivamente, se pueden definir las siguientes operaciones básicas:

Unión:

La función de pertenencia de la unión de A y B se define como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\mu_{A \cup B} = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

Y cuya interpretación geométrica se observa en la Fig. 19”.

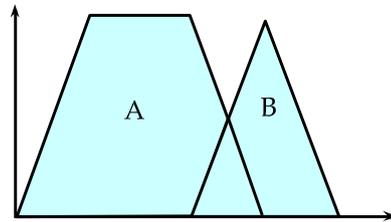


Figura 19. Unión de Conjuntos Difusos

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

Intersección.

“La función de pertenencia de la intersección de A y B se define en la siguiente ecuación y su interpretación geométrica se observa en la Fig. 11”.

$$\mu_{A \cap B} = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

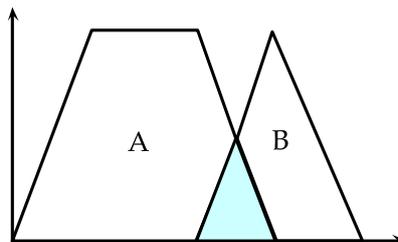


Figura 20. Intersección de Conjuntos Difusos

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

Complemento.

“La función de pertenencia del complemento de A se define por la siguiente ecuación:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \text{—}$$

y su interpretación gráfica como aparece en la Fig. 21.

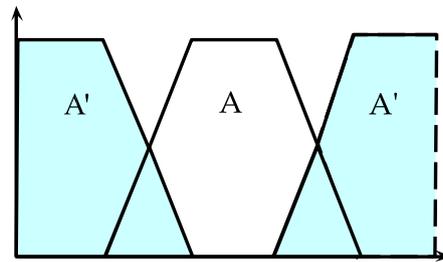


Figura 21. Complemento de Conjuntos Difusos

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

2.4.5 Relaciones difusas.

Zimmermann (1996) describe:

“Una relación difusa representa el grado de presencia o ausencia de asociación, interacción o interconexión entre elementos de dos o más conjuntos difusos, es decir,

$$R(U, V) = \{(x, y), \mu_R(x, y) \mid (x, y) \in U \times V\}$$

Como las relaciones difusas son en sí mismas un conjunto difuso en el espacio producto, las operaciones entre conjuntos y los operadores definidos anteriormente también pueden ser aplicadas a ellas. Supongamos $R(x, y)$ y $S(x, y)$ dos relaciones en el mismo espacio producto $U \times W$. La intersección o unión entre R y S , que son composiciones entre las dos relaciones, se definen como:

$$\begin{aligned}\mu_{R \cap S}(x, y) &= \mu_R(x, y) * \mu_S(x, y) \\ \mu_{R \cup S}(x, y) &= \mu_R(x, y) \oplus \mu_S(x, y)\end{aligned}$$

Dónde $*$ es cualquier t-norma, y \oplus es cualquier t-conorma.

Si consideramos las relaciones difusas R y S que pertenecen a diferentes espacios producto R(U, V) y S(V, W), por ejemplo “x es mayor que y” y “y es cercano a z”, su composición difusa se define de forma análoga a la composición clásica teniendo en cuenta que en el caso difuso la relación difusa R tiene asociada una función característica $\mu_R(x, y)$ que toma valores en el intervalo [0,1] y la relación difusa S también tiene asociada una función característica $\mu_S(y, z)$ que de igual forma toma valores en el intervalo [0,1]. Entonces la composición difusa entre R y S, es decir R o S, cuando R y S pertenecen a universos discretos de discurso, se define como una relación difusa en UxW cuya función de pertenencia viene dada por:

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \sup [\mu_R(x, y) * \mu_S(y, z)]$$

Dónde el operador sup es el máximo y el operador * puede ser cualquier t-norma. En función de la t-norma elegida podemos obtener distintas composiciones; las dos composiciones más usadas son la composición máx-min y la composición máx-producto:

La composición máx-min de las relaciones difusas R (U, V) y S (V, W), es una relación difusa R o S en UxW definida por la función de pertenencia

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \max_{y \in V} \min [\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)]$$

La composición máx-product de las relaciones difusas R(U,V) y S(V,W), es una relación difusa R o S en UxW definida por la función característica

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \max_{y \in V} [\mu_R(x, y) \cdot \mu_S(y, z)]$$

Las funciones que definen la unión y la intersección de conjuntos difusos pueden generalizarse, a condición de cumplir ciertas restricciones. Las funciones que cumplen estas condiciones se conocen como Conorma Triangular (T-conorma) y Norma Triangular (T-Norma).

Los principales operadores que cumplen las condiciones para ser **t-conormas** son el operador máximo y la suma algebraica [$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$]

Los principales operadores que cumplen las condiciones para ser **t-normas** son el operador mínimo y el producto algebraico [$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$].

En la mayoría de las aplicaciones a la ingeniería de la lógica difusa se usan como t-conorma el operador máximo y como t-norma los operadores mínimo o producto. La operación complemento de uno o uno menos ($N_c(a) = 1 - a$) es la función complemento más difundida en aplicaciones prácticas.

Del análisis de las normas T resulta que la función min es la que arroja los valores más altos de la clase, en tanto que max es la que obtiene los valores más bajos de entre las conormas T.

Ejemplos de normas, conormas y complementos utilizados en operaciones con conjuntos difusos.

Podemos ver ejemplos de conjuntos resultantes de aplicar normas S

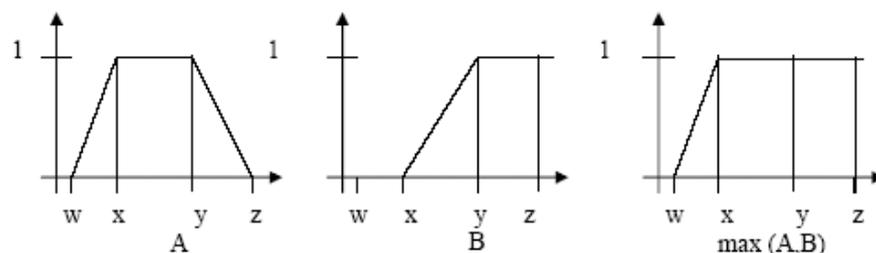


Figura 22. Relaciones Difusas

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

T-Conorma Máximo o Unión estándar.- Zimmermann (1996)

$$S(a,b) = \max(a,b)$$

La función máx ($\dot{\cup}$) es una s-norma, que corresponde a la operación de unión en conjuntos clásicos cuyos grados de pertenencia están en $\{0,1\}$. Por eso, esta función es la extensión natural de la unión en conjuntos difusos.

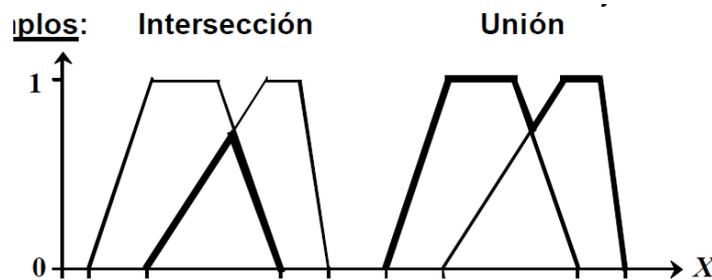


Figura 23. T-Conorma Máximo o Unión estándar

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

Una t-norma es una aplicación $T: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ que verifica las siguientes propiedades.

1. **Conmutativa:** $T(x, y) = T(y, x), \forall x, y \in [0, 1]$
2. **Asociativa:** $T(T(x, y), z) = T(x, T(y, z)), \forall x, y, z \in [0, 1]$
3. **Monotonía:** si $(x \leq y)$ y $(w \leq z)$ entonces
 $T(x, w) \leq T(y, z), \forall x, y, w, z \in [0, 1]$
4. **Elemento absorbente:** $T(x, 0) = 0, \forall x \in [0, 1]$
5. **Elemento neutro:** $T(x, 1) = x, \forall x \in [0, 1]$

Existen muchas funciones que cumplen estas propiedades y que por lo tanto pueden ser utilizadas para representar la intersección entre conjuntos difusos”.

2.4.6 Reglas.

Zimmermann (1996) describe:

“Una regla es definida como un modo de representación estratégica o técnica, la cual es apropiada cuando el conocimiento con el que deseamos

trabajar proviene de la experiencia o de la intuición, y por tanto carece de una demostración física o matemática.

El formato de las reglas está compuesto por proposiciones similares a la sentencia de condición IF en un lenguaje de programación cualquiera IF-THEN (SI-ENTONCES), quedando por tanto:

IF <antecedente o condición> THEN <consecuente o conclusión>

El antecedente y consecuente son proposiciones difusas, las cuales están regidas por las operaciones en lógica difusa que se pueden realizar, que son:

Partiendo de dos proposiciones con dos grados de verdad τ_A y τ_B , deducimos que:

$$\text{AND Difuso: } \tau_{A \wedge B}(v) = \underbrace{\sup}_{w, z \in [0, 1] v = wz} \{ \tau_A(w) \wedge \tau_B(z) \};$$

$$\text{OR Difuso: } \tau_{A \vee B}(v) = \underbrace{\sup}_{w, z \in [0, 1] v = wz} \{ \tau_A(w) \vee \tau_B(z) \};$$

$$\text{NOT Difuso: } \tau_{\neg A}(v) = \underbrace{\sup}_{u \in [0, 1] v = 1 - u} \tau_A(u) = \tau_A(1 - u);$$

$$\text{Implicación difusa: } \tau_{A \rightarrow B}(v) = \underbrace{\sup}_{w, z \in [0, 1] v = w \rightarrow z} \{ \tau_A(w) \wedge \tau_B(z) \};$$

Un ejemplo básico de cómo se podría formar una proposición de este estilo, sería el siguiente:

SI el frío es elevado **ENTONCES** abrigar mucho.

2.4.6.1 Tipos de reglas y proposiciones.

Las proposiciones se pueden clasificar en los siguientes grupos:

2.4.6.1.1 Proposiciones cualificadas.

Introducen un atributo para cualificar la proposición que forma una regla. El atributo corresponde al grado que determina la regla. Eje: Grado de Suceso: Probable, poco probable... etc.

2.4.6.1.2 Proposiciones cuantificadas.

Indican cantidades difusas en las reglas. Eje: **si** muchos alumnos suspenden **entonces** la explicación fue bastante mala.

Respecto a esta clasificación, podremos decir que las proposiciones que no poseen cuantificadores ni cualificadores son proposiciones categóricas, mientras que las proposiciones no categóricas no tienen por qué ser verdad siempre.

Las reglas pueden tener variantes, entre ellas se encuentran las siguientes: Con excepciones: Son el tipo: **si** la temperatura es alta **entonces** tendré calor **excepto** que tenga aire acondicionado.

2.4.6.1.3 Reglas conflictivas.

Son reglas que dentro de un mismo sistema tienen información contradictoria, lo cual puede acarrear muchos problemas, tales como malos resultados o generar problemas”.

2.4.7 Sistema Basado en Reglas difusas.

Zimmermann (1996) Define en base a lo establecido por Zadeh (1965):

“Un Sistema Basado en Reglas Difusas (SBRD). Está formado por: Base de conocimiento, Base de Reglas, Base de Datos. Motor de inferencia. Además en sistemas con entradas y/o salidas nítidas, se incluye un interfaz de fuzificación y un interfaz de defuzificación (figura 24).

2.4.7.1 Base de reglas difusas.

En la siguiente figura, se presenta ejemplos de las posibles reglas que rigen un sistema.

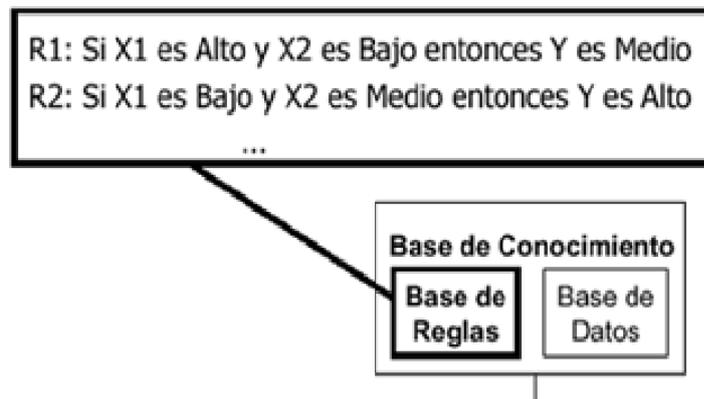


Figura 24. Base de reglas de un SBRD

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

2.4.7.2 Tipos de Sistemas basados en Reglas Difusas.

En función del tipo de regla difusa que utilicen se puede distinguir:

2.4.7.3. Sistemas Basados en Reglas Difusas (SBRD) tipo Mamdani.

El primer tipo de SBRD que trabajó con entradas y salidas reales fue propuesto por Mamdani, el cual fue capaz de plasmar las ideas preliminares de Zadeh en el primer SBRD tangible para una aplicación de control. Este tipo de Sistemas Difusos, los más utilizados desde aquella fecha, se conocen también por el nombre de SBRDs con Fuzzificador y Defuzzificador o, como ya se ha comentado, por el de Controladores Difusos, nombre que ya acuñó Mamdani en sus primeros trabajos puesto que su aplicación principal ha sido históricamente en control de sistemas. Las reglas son del tipo "Si - entonces" y en el caso en que el SBRD tipo Mamdani tenga múltiples entradas y una única salida, presentan la siguiente estructura:

Si X_1 es A_1 y... y X_n es A_n entonces Y es B ,

Donde X_i e Y son variables lingüísticas de entrada y salida respectivamente, y los A_i y B_i son etiquetas lingüísticas asociadas a dichas variables. Los SBRDs emplean un Sistema de Inferencia que efectúa el Razonamiento Difuso teniendo en cuenta la información contenida en una Base de Conocimiento. Los componentes que dotan al sistema de la capacidad de manejar entradas y salidas reales son los Interfaces de Fuzzificación y Defuzzificación. El primero establece una aplicación entre puntos precisos en el dominio U de las entradas del sistema y conjuntos difusos definidos sobre el mismo universo de discurso, mientras que el segundo realiza la operación inversa estableciendo una aplicación entre conjuntos difusos definidos en el dominio V de las salidas y puntos precisos definidos en el mismo universo (figura 25), muestra la estructura general de los SBRDs de tipo Mamdani".

2.4.8 Modelo difuso.

Zimmermann, (1996), presenta el modelo difuso, en la siguiente figura:

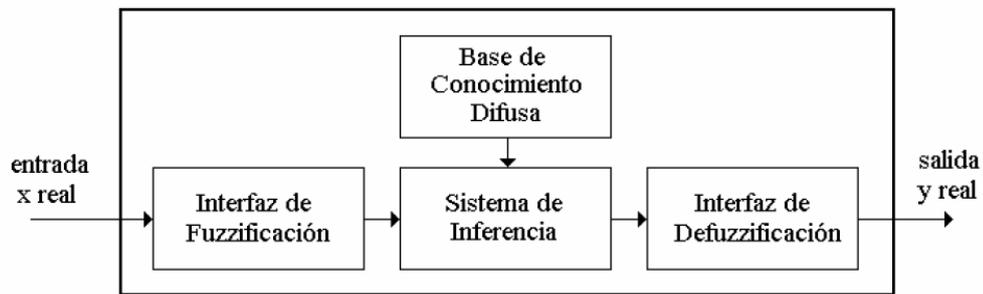


Figura 25. Modelo Difuso.

Fuente; Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

2.4.8.1 El interfaz de fuzzificación.

Gajate (2010) define:

“El módulo de interfaz procesa cada una de las entradas del sistema. Adquirir los valores nítidos de las variables de entrada. Trasladar los valores de las variables a los universos de discurso correspondientes. En función del tipo de sistema difuso: Convertir cada valor nítido en un conjunto difuso con grado de pertenencia igual a 1 para ese valor y 0 para el resto (fuzzy singleton), también se puede hacer corresponder a cada valor nítido el término lingüístico más adecuado, o calcular el grado de pertenencia a cada uno de los conjuntos difusos utilizados para dicha variable lingüística.

2.4.8.2 Base de datos.

Proporciona la información necesaria para el funcionamiento del módulo de fuzzificación, de defuzzificación y de la Base de Reglas.

2.4.8.3 La Base de Conocimiento.

Está formada por la Base de Reglas y la Base de Datos. Parámetros de diseño implicados: Elección de las variables de estado del proceso y de control

del mismo. Elección del conjunto de términos lingüísticos para las variables de estado y de control. Elección de la estructura del antecedente y consecuente de las reglas. Derivación del conjunto de reglas.

2.4.8.4 Motor de inferencia.

La inferencia se define como la acción y efecto de inferir, es decir, sacar una consecuencia o deducir algo de otra cosa. En términos más amplios, una inferencia es una evaluación que realiza la mente entre conceptos que, al interactuar, muestran sus propiedades de forma discreta, necesitando utilizar la abstracción para lograr entender las unidades que componen el problema, creando un punto axiomático o circunstancial, que nos permitirá trazar una línea lógica de causa-efecto, entre los diferentes puntos inferidos en la resolución del problema.

Ciertamente, la inferencia es un proceso intrínseco al razonamiento humano. Inferir es concluir o decidir a partir de algo conocido o asumido (llegar a una conclusión). A su vez, razonar es pensar coherente y lógicamente, en otras palabras, establecer inferencias o conclusiones a partir de hechos conocidos o asumidos. El proceso de razonamiento, por lo tanto, involucra la realización de inferencias, a partir de hechos conocidos. Realizar inferencias significa derivar nuevos hechos a partir de un conjunto de hechos conocidos como verdaderos (pág. 49).

2.4.8.5. Módulo de defuzificación

Es el modulo que convierte la salida difusa del mecanismo de inferencia en una salida que pueda ser interpretada por elementos externos que solo manipulen información numérica. La salida del mecanismo de inferencia es un conjunto difuso y para generar la salida numérica a partir de este conjunto existen varias opciones como el centro de gravedad y los centros promediados, entre otros”.

2.4.9 Razonamiento.

Limón. (2006), define:

“El razonamiento como: “[...] una operación lógica mediante la cual, partiendo de uno o más juicios, se deriva la validez, la posibilidad o la falsedad de otro juicio distinto. Por lo general, los juicios en que se basa un razonamiento expresan conocimientos ya adquiridos, o por lo menos, postulados como hipótesis. Cuando la operación se realiza rigurosamente y el juicio derivado se desprende con necesidad lógica de los juicios antecedentes, el razonamiento recibe nombre de inferencia. Los juicios sirven como punto de partida son denominados premisas y desempeñan la función de ser las condiciones de la inferencia. El resultado que se obtiene, o sea, el juicio inferido como consecuencia es llamado conclusión.

La inferencia permite extraer de los conocimientos ya establecidos, otro conocimiento que se encuentra implícito en las premisas o que resulte posible de acuerdo a ellas. Cuando en la conclusión se llega a un conocimiento menos general que el expresado en las premisas, se habrá efectuado una inferencia deductiva. Cuando la conclusión constituye una síntesis de las premisas y, por consiguiente, un conocimiento de mayor generalidad, se habrá practicado una inferencia inductiva. Y, cuando la conclusión tiene el mismo grado de generalidad o de particularidad que las premisas, entonces se habrá ejecutado una inferencia transductiva. La ejecución de las inferencias se realiza conforme a ciertas reglas que han sido dilucidadas en la experiencia y formuladas de un modo estricto por la lógica [...]” (p. 49).

2.4.10 Formas de obtención de la base de conocimiento.

Aracil y Gordillo (1995) definen:

“A través de experiencia experta, conocimiento de ingeniería de control o acciones de un operador de control experimentado. Conocimiento

de un experto capaz de describir de forma lingüística sus reglas de decisión (factores de escala, semántica de los conjuntos difusos, operadores implicados)".

2.4.11 Teoría de sistemas.

Gil y Ramón (2008) definen:

"La Teoría de Sistemas (TGS) es una perspectiva holística debido a que integra múltiples sub sistemas y procesos y estudia sus relaciones e interacciones en una sola unidad de análisis como sistema, delimitados este por ambiente externo. El término sistema puede tener varios significados y aparecer en diversos contextos. Por lo anterior un sistema puede tener un significado muy distinto de acuerdo al área de estudio que esté representando y analizando".

2.4.11.1 Sistema.

García R. (2006) define:

"Si llamamos sistema a todo conjunto organizado (físico, biológico, social) que tiene propiedades, como totalidad, que no son propiedades de sus elementos tomados aisladamente, la organización del sistema que determina su estructura no es otra cosa que el conjunto de las relaciones entre sus elementos (moléculas, órganos, comunidades, individuos), incluyendo las relaciones entre esas relaciones" (p. 117).

2.4.11.2 Límite.

Gil y Ramón (2008), define:

“Es la separación que existe entre el sistema y el medio ambiente u otros sistemas más grandes. Es necesario definir los límites para determinar la unidad de análisis y problema de interés, pero lograr el consenso no es siempre fácil. La definición de los límites también es importante porque es necesario dejar dentro del sistema los elementos que permitan analizar su comportamiento pero al mismo tiempo se requiere que el sistema tenga un tamaño que permita su comprensión y análisis (Flood & Jackson, 2000). De acuerdo con (Aracil & Gordillo, 1995) la definición de límite debe realizarse de tal forma que el comportamiento del sistema se pueda explicar desde adentro y no basado en variables del exterior. Sin embargo, a pesar de la definición de los límites del sistema, el analista debe tomar en consideración las interacciones con el medio ambiente para lograr resultados aplicables a la realidad”.

2.4.11.3 Entradas.

Aracil, y Gordillo, (1995) definen:

“Las entradas son los insumos del sistema y puede ser recursos materiales, recursos humanos o información. Las entradas son un parámetro esperado para que los elementos del sistema empiecen a llevar a cabo su función y constituyen un elemento analítico poderoso (Easton, 1989). De forma más general, una entrada puede ser cualquier acontecimiento que altere, modifique o afecte un sistema. La diferencia entre entradas y recursos es mínima, y depende sólo del punto de vista y circunstancias. En el proceso de conversión, las entradas son generalmente los elementos sobre los cuales se aplican los recursos”.

2.4.11.4 Salidas.

Aracil, y Gordillo, (1995) definen:

“Las salidas son los efectos que se propagan dentro o fuera de los límites de un sistema, pero que no se consideran las acciones del ambiente, sino que son producto de la relación de los elementos que interactúan entre sí” (Aracil & Gordillo, 1995).

2.4.11.5 Proceso.

Javier Aracil, y Francisco Gordillo, (1995) definen:

“Un proceso es un cambio o una serie de cambios que constituye el curso de acción de relaciones causales entre eventos. Estos procesos no son *datos* empíricamente dados ni son observables construidos a partir de la interpretación de datos. Son relaciones establecidas sobre la base de inferencia.

2.4.11.6 Relación.

“Las relaciones son las conexiones entre los elementos del sistema que sirven para comunicarse o las interacciones entre agentes” (Sherwood, 2002).

2.4.12 Medio ambiente o contexto.

Van (2000), cita a los siguientes investigadores:

“Medio ambiente, es lo que esta fuera del control del sistema (Vargas, 2004). El concepto de ambiente es esencial, ya que permite clasificar a los sistemas en dos grandes categorías: sistemas cerrados y sistemas abiertos (Fortune & Peters, 2005).

Un sistema cerrado es un sistema aislado que no interactúa con el medio ambiente y obedece a la segunda ley de la termodinámica en donde en el sistema gradualmente disminuye la energía e incrementa la entropía (Jackson, 2000).

Un sistema abierto es aquel que está en constante intercambio de energía con el medio ambiente, es decir, el límite que separa al sistema con el medio ambiente es permeable (Flood & Jackson, 2000). Un sistema abierto puede ser un ser humano, una bacteria, un animal, Internet, la sociedad o el Estado (Kramer, 2006). En general, todos los sistemas vivos son abiertos”.

2.4.13 Variantes del enfoque sistémico.

Gil y Ramón (2008) describen:

“Debido a las diferentes aplicaciones que se le ha dado al enfoque sistémico, como, el análisis sociológico, social y cultural, entre otros y para tener una mejor comprensión del análisis sistémico, la Teoría de Sistemas se puede dividir en dos grandes categorías: Sistemas Duros (Hard Systems) y Sistemas Suaves” (Soft Systems), figura 26.

Los sistemas suaves se dividen a su vez en dos ramas: las ciencias del comportamiento y las ciencias sociales. Por otro lado, los sistemas duros también se clasifican en dos ramas: ciencias físicas y ciencias de la vida”.

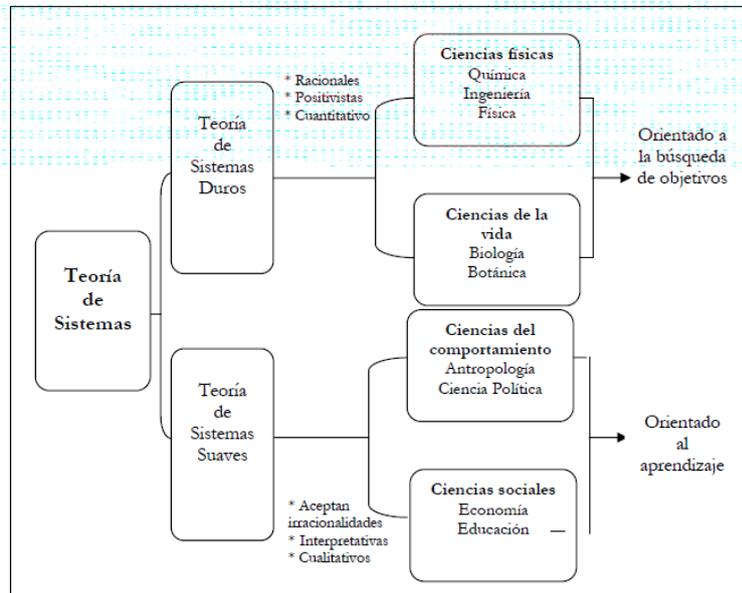


Figura 26. Clasificación de la Teoría de Sistema

Fuente: Elaboración de J. Ramón Gil (2008), basado en Flood y Jackson (1991) y Van Gigch (1991).

2.4.14 Propiedades de los sistemas.

Gil y Ramón (2008) describen:

2.4.14.1 Transformación.

“El funcionamiento de un sistema se puede apreciar mediante la transformación de las entradas en salidas. Una característica principal del proceso es la realimentación del sistema., en la cual el comportamiento de un elemento de un sistema modifica el comportamiento de otro de acuerdo con la relación que mantienen entre sí (Flood & Jackson, 2000). La transformación o proceso se representa en muchas ocasiones como una caja negra en donde se procesan las entradas”.

2.4.14.2 Equifinalidad.

(Van , 2000) Define:

“Es el estado o posición final que puede alcanzar un sistema partiendo de un estado inicial diferente a otro, (Bertalanffy, 1989). Es decir en un sistema cerrado la equifinalidad está determinada por las condiciones iniciales, pero en un sistema abierto la equifinalidad puede alcanzarse partiendo de condiciones diferentes que las de un sistema cerrado debido a que el medio ambiente está en constante interacción y modifica el comportamiento del sistema”.

2.4.14.3 Retroalimentación.

Forrester (1961) define:

“Un componente esencial para la comunicación del sistema es la retroalimentación o realimentación que es el proceso mediante el cual la salida del sistema o respuesta provee información nuevamente al receptor o entrada del sistema para modificar el comportamiento del sistema y para hacer frente a la tensión existente en el mismo (Easton, Enfoques sobre Teoría Política, 1982). También se puede entender como el proceso en el cual el comportamiento de un elemento del sistema puede realimentar a otro directa o indirectamente a través de la relación que tienen hasta llegar al punto de modificar el comportamiento del otro elemento (Flood & Jackson, 2000). La realimentación puede ser positiva o negativa (Kay, 2006) y permite que el sistema aprenda y se autorregule (Easton, 1990). La realimentación es parte fundamental de un sistema social porque las partes o elementos responden de forma positiva (proceso de crecimiento) o negativa (procesos estabilizador) de acuerdo con la información que reciben”.

Baumgartner y Jones (2002) definen:

“[...] el objetivo de un sistema de realimentación negativa es que sea un contrapeso que permita llegar al equilibrio del sistema. Este tipo de sistemas son muy comunes en la ciencia política y en las políticas públicas debido a que están diseñados para llegar a la homeostasis del sistema, tales como acciones contra el proceso inflacionario o políticas para contrarrestar la pobreza.

En contraste, la realimentación positiva es una acción que refuerza la dirección de un proceso en un sistema, provocando procesos autocatalíticos (Easton, 1982)... Es una operación que no es estabilizadora para el sistema, sino que se considera inestable y explosiva”.

2.4.14.4 Control.

“Se presenta cuando un sistema puede mantener su identidad y tiene procesos estables en el tiempo dentro de límites de equilibrio viable” (Flood & Jackson, 2000) (Van , 2000).

2.4.14.5 Jerarquía.

“Es el orden que tienen los sistemas de acuerdo con valores establecidos: estructura, tiempo, complejidad, entre otros. La jerarquía también se puede definir como la posición que tienen los componentes de un sistema respecto a otros” (Vargas, 2004).

2.4.14.6 Sinergia.

Gottschalk (2006) define:

“Sinergia es la capacidad de los elementos de un sistema para trabajar como un todo (Flood & Jackson, 2000). Es cuando dos o más elementos de un sistema se complementan para obtener un resultado mayor. Este tipo de estrategia es utilizada con frecuencia en áreas de negocio para dar un mejor resultado”.

2.4.15 Los sistemas complejos.

García R. (2006) describe:

“Sistemas complejos se trata de sistemas heterogéneos abiertos, cuyo estudio requiere una combinación de análisis sincrónicos y diacrónicos: los primeros para determinar las propiedades estructurales del sistema en un período dado de tiempo, y los segundos para identificar los procesos que condujeron a esa forma particular de organización”.

Serrano, Cruz, Arguello, Osorio, y Sánchez (2012) citan a a Luhmann y distinguen dos conceptos diferentes de complejidad:

“Complejidad basada en la distinción entre elementos y relaciones: definiremos como complejo a un conjunto interrelacionado de elementos cuando ya no es posible que cada elemento se relacione en cualquier momento con todos los demás, debido a limitaciones inherentes a la capacidad de interconectarlos.

Complejidad basada en la observación: la complejidad del sistema es una medida de la falta de información, de la redundancia negativa y de la incertidumbre de las conclusiones que pueden obtenerse a partir de las observaciones hechas por Juan Moreno”. (2002, p. 19).

2.4.16 El pensamiento complejo.

Morin (1999), describe:

“La complejidad es un tejido (complexus: lo que está tejido en conjunto), de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados: presenta la paradoja de lo uno y lo múltiple. Desde este enfoque, se rompe el sentido trivial de la palabra (complicación, confusión), por la comprensión del orden, desorden y organización y, en el seno de la organización, lo uno y lo diverso. De acuerdo con esta interpretación, “la complejidad consiste en un método de aproximación al mundo, a los fenómenos y al ser humano. Existen numerosos vínculos entre el pensamiento complejo y otros campos, histórica y conceptualmente afines, tales como la cibernética –de primer y de segundo orden-, la teoría de la sinergia, desarrollada por Haken, y el pensamiento sistémico. Para esta primera línea de interpretación, “complejo” se asimila como un rasgo positivo o favorable de los fenómenos, frente a lo cual conceptos como “simple”, “reduccionista”, “determinista” o “lineal” adquieren una significación negativa, criticable (Maldonado, 2009, p. 3).

2.4.17 Dinámica de los Sistemas Complejos.

García R. (2006) describe:

“Los sistemas, como totalidades organizadas, tienen dos características fundamentales: Las propiedades del sistema, en un momento dado, no resultan de la simple adición de las propiedades de los componentes. La vulnerabilidad o resiliencia, así como las condiciones de estabilidad, son propiedades estructurales del sistema en su conjunto. La evolución del sistema responde a una dinámica que difiere de las dinámicas propias de sus componentes. Así, por ejemplo, el sistema total integra, en su evolución, procesos de escalas temporales que varían

considerablemente entre los subsistemas, e induce cambios en estos últimos” (p. 94).

2.4.18 Estados de los sistemas complejos.

2.4.18.1 Estados estacionarios.

García R. (2006) define:

“Los sistemas complejos son sistemas abiertos: carecen de límites bien definidos y realizan intercambios con el medio externo. No se trata de sistemas estáticos con una estructura rígida. Sin embargo, cuando las condiciones de contorno sufren sólo pequeñas variaciones con respecto a un valor medio, el sistema se mantiene estacionario, es decir, las relaciones entre sus elementos fluctúan, sin que se transforme su estructura.

Deben distinguirse dos tipos bien diferenciados de estados estacionarios: aquellos que corresponden a situaciones de equilibrio (como, por ejemplo, el equilibrio termodinámico de un sistema aislado), y aquellos e, alejados del estado de equilibrio, [...]. Un ejemplo típico del segundo es el de un organismo biológico que se mantiene con alteraciones mínimas (oscilaciones alrededor de un "estado medio" durante un período dado de tiempo) gracias a que, en su interacción con el medio externo, se producen intercambios que corresponden, fundamentalmente, tanto a la ingestión y excreción de alimentos, como a las funciones respiratoria y transpiratoria. El sistema se mantiene en condiciones estacionarias, pero lejos del equilibrio. Si cesan los intercambios con el exterior, el sistema llega a un estado de equilibrio que es la muerte”.

2.4.18.2 Estabilidad e Inestabilidad de un sistema.

García R. (2006) describe:

“Si para cierta escala de perturbaciones estas dentro de ciertos límites sin alterar la estructura del sistema, diremos que el sistema es estable con respecto a dicha escala de perturbaciones. En estos casos modificaciones oscilan, las perturbaciones son amortiguadas o incorporadas al sistema. Cuando no ocurre ninguna de ambas alternativas, el sistema no puede "absorber" la perturbación. El sistema se torna inestable y ocurre una disrupción de su estructura. La evolución de un sistema, después de haber pasado el umbral de la inestabilidad, puede variar de diversas maneras. El caso más interesante tiene lugar cuando la inestabilidad se desencadena por una acción que corresponde a una modificación de las condiciones de contorno. Bajo estas nuevas condiciones de contorno, el sistema se reorganiza hasta adoptar una nueva estructura que puede mantenerse estacionaria mientras no varíen esas nuevas condiciones de contorno. El sistema vuelve a ser estacionario, pero con una estructura diferente a la anterior. La teoría matemática de la estabilidad e inestabilidad estructural es sumamente compleja y no existe una clasificación sistemática de las formas posibles de evolución de un sistema. René Thom ha estudiado a fondo el problema en el caso particular de ciertos sistemas, para los cuales la clasificación es posible, tal como aparece en su teoría de las catástrofes. Sin embargo, las condiciones de aplicabilidad de esta teoría son muy restrictivas debido a sus limitaciones matemáticas. Diversos seminarios sobre este tema con físicos, biólogos y sociólogos, así como el estudio de diferentes sistemas complejos, nos han obligado a realizar un análisis más detallado de los mecanismos de desestructuración y reestructuración de sistemas, así como de

regulación de sus condiciones de estabilidad. Ello nos ha conducido a profundizar en el tipo de relaciones causales que operan en tales mecanismos. Expondremos a continuación los lineamientos generales. Esquemáticamente, las relaciones estructurales podrían resumirse de la siguiente manera: cuando las perturbaciones provenientes de un subsistema exceden un cierto umbral, ponen en acción mecanismos del siguiente nivel; estos últimos obedecen a una dinámica propia que puede actuar como reguladora, contrarrestando la perturbación, o bien puede desencadenar procesos que reorganizan la estructura. Es importante señalar, a este respecto, que el "efecto" que se obtenga sobre la estructura del segundo nivel está regido por sus condiciones de estabilidad y no guarda relación directa con las perturbaciones que lo originaron ("causa") y que sólo desencadenan el proceso. Los sistemas complejos que hemos estudiado tienden a confirmar que el estudio de su evolución debe ser abordado como un problema de imbricación de estructuras. En el caso de los desastres ocasionados por ciertos fenómenos naturales, los efectos no dependen tanto de la intensidad del fenómeno físico como de la estructura socioeconómica de las comunidades afectadas".

2.4.18.3 Vulnerabilidad.

García R. (2006) define:

"Vulnerabilidad es aquí es la propiedad clave, y está mayormente determinada por la combinación de dos factores: el tipo de relaciones entre los elementos del sistema (es decir, el tipo de relaciones que define la estructura del sistema), y los mecanismos homeostáticos que previenen disrupciones en el conjunto de las relaciones que están bajo la influencia de perturbaciones" (p. 153).

2.4.18.4 La resiliencia.

García R. (2006) Define:

“La resiliencia corresponde a la capacidad que tiene el sistema de adaptarse (podríamos decir “absorber”) a las perturbaciones de una cierta magnitud, es decir, que no exceden el umbral característico del sistema en cada momento. Cuando ese umbral es excedido, el sistema se desestabiliza (lo cual se expresa diciendo que el sistema es *vulnerable* a dichas perturbaciones). El cambio de flujos se debe, en general, a eventos que ocurren en otros niveles de organización. La desestabilización puede comenzar en cualquier punto del sistema y conduce a su desorganización. A partir de allí, si los flujos se estabilizan nuevamente, el sistema adquiere una nueva estructura por compensaciones internas. En eso consiste, en última instancia, lo que hemos llamado evolución por sucesivas reorganizaciones” (p. 83) .

2.4.19 Los sistemas disipativos.

García R. (2006) define:

“Los sistemas disipativos se fundamenta en los cambios sufridos por un sistema complejo, sometido a modificaciones significativas en sus condiciones de contorno, no son continuos ni lineales, sino que implican cambios estructurales en sucesión más o menos rápida que corresponde a distintos niveles de auto organización del sistema” (p. 66).

2.4.20 El universo estratificado.

García R. (2006), define:

“El mundo físico se presenta constituido por niveles de organización sami-autónomos y en cada nivel rigen dinámicas específicas de cada uno de ellos, pero que interactúan entre sí. Los diferentes niveles están "desacoplados" en el sentido de que las teorías desarrolladas en cada uno de los niveles tienen suficiente estabilidad como para no ser invalidadas por descubrimientos o desarrollos en otros niveles” G (p. 74).

2.4.21 El Universo no-lineal.

García R. (2006) define:

“La variedad de problemas que fueron abordados, y la cantidad de resultados espectaculares obtenidos, han permitido extender enormemente la comprensión de los procesos no-lineales, pero ello ha llevado también, lamentablemente, a lo que me he permitido llamar "extrapolaciones matemáticas ilegítimas y falacias correlacionadas". Prevalece en la ciencia actual un cierto imperialismo de las computadoras que hace aparecer como no-científico todo estudio de procesos no "modelables" a través de un sistema de ecuaciones diferenciales no-lineales”.

2.4.22 Escala de fenómenos.

García R. (2006) Describe:

“[...] los datos observacionales que pertenecen a diversas escalas no deben mezclarse. Agregar datos de una escala inferior a los datos de una

escala superior no agrega información, sólo introduce "ruido" (en el sentido de la teoría de la información)

Sin embargo, las escalas interactúan, las nubes convectivas constituyen una de las principales fuentes de energía para los movimientos de gran escala, y éstos a su vez, determinan condiciones que favorecen o inhiben las escalas menores. El problema que se presenta es, entonces, cómo estudiar las interacciones”.

2.4.23 El equilibrio dinámico de sistemas abiertos.

García R. (2006) define:

“Los sistemas complejos poseen una doble característica: (1) estar integrados por elementos heterogéneos en permanente interacción y (2) ser abiertos, es decir, estar sometidos, como totalidad, a interacciones con el medio circundante, las cuales pueden consistir en intercambios de materia y energía, en flujos de recursos o de información o en la acción de ciertas políticas” (p. 123).

2.4.24 Territorio.

González (1996) define:

“Un territorio específico implica espacialidad, dinámica temporal y sistema biofísico, la sociedad humana relacionada con el territorio implica también una población organizada culturalmente, y según los planteamientos del autor la cultura es el resultado de la interacción de sistemas: biofísico, tecnológico, organizacional, de conocimiento y simbólico”.

2.4.25 Ordenación territorial (OT).

Gómez y Gómez (2013) definen:

“La ordenación territorial puede entenderse como la conducción planificada del sistema territorial, la cual se hace operativa a través de la formulación y materialización de un conjunto de planes, que pueden ser específicos de la ordenación territorial o no específicos, correspondiendo a otros campos con incidencia territorial” (p. 107).

2.4.26 Sistema urbano.

Sistema urbano.- “delimita metodológicamente las aplicaciones de modelos y de sistemas dinámicos complejos a unidades político – administrativas, en las que la contigüidad de elementos sociales y económicos tiene límites administrativos establecidos” (García C. E., 2003).

2.4.27 Componentes del sistema urbano.

“Desde EL planteamiento (territorio) puede perfilarse como componentes del sistema urbano a los factores biofísicos, factores tecnológicos y factores poblacionales en términos de sus relaciones y organizaciones” (García C. E., 2003).

2.4.28 Componentes de un sistema de asentamiento humano.

Carlos C. (2003) define:

“Un sistema de asentamiento humano está dividido en 4 subsistemas: el físico espacial, el socio cultural, el económico – financiero y el político – administrativo. En el sistema propuesto los subsistemas incluyen:

- **Subsistema físico – espacial:** espacio físico, tecnologías y materiales de construcción, infraestructura física.
- **Subsistema socio – cultural:** las estructuras sociales, los sistemas de valores, las apreciaciones estéticas que gobiernan el diseño.
- **Subsistema económico – financiero:** sistemas de intercambio de bienes, sistemas económicos urbanos, teorías de desarrollo económico, instituciones y programas financieros, valorización.
- **Subsistema político – administrativo:** relaciones de poder y procedimientos en el asentamiento, estructuras políticas, políticas de desarrollo urbano, legislación y prácticas de planificación” (p. 86).

2.4.29 Las Ciudades.

“Las ciudades son configuraciones o sistemas, que presentan relaciones entre sí. Las ciudades tienen múltiples funciones – residencia, comercio, manufactura, gobierno, administración, educación, cultura, religión, finanza, servicios, mantenimiento, recreo y trabajo social” (Glick, 1992).

2.4.30 Urbanización.

García C. (2003), define:

“La urbanización se refiere a la articulación espacial, continua o discontinua, de población y actividades, mientras que la ciudad implica un sistema específico de relaciones sociales, de cultura y de instituciones políticas de autogobierno. La ciudad como el espacio en el que se dan relaciones sociales y el sistema urbano como la articulación de la población y sus actividades con el espacio”.

2.4.31 Subsistema natural.

Garcia C. (2003) describe y cita:

“Entendiendo el subsistema natural como un componente del sistema urbano, se plantean en él los elementos del ecosistema primitivo profundamente alterados e intervenidos por la actividad humana (Angel Maya, 1996), para relacionar factores que como el suelo, el agua y el aire interactúan con las actividades humanas en la ciudad, incluso factores bióticos en los que se conservan algunas cadenas tróficas. Estos elementos se relacionan como en un ecosistema, en el que se establece una estructura biótica y una abiótica, para hacer referencia a una compleja red de relaciones entre factores biológicos y físicos, cada uno con una dinámica compleja de procesos que permiten su organización y funcionamiento” (p. 88).

2.4.32 Ecosistema.

Garcia C. (2003), describe y cita::

“Un ecosistema es un sistema abierto que experimenta salida y entrada permanente de energía y materia (Odum & Sarmiento , 1998), en el que cada componente evidencia flujos internos y externos de energía en los que se soporta una dinámica autorreguladora y establecen un modelo de leyes ecosistémicas. Para Angel (1996), existen seis elementos conceptuales básicos en el ecosistema: el flujo energético, los niveles tróficos, los ciclos biogeoquímicos, los nichos ecológicos, el equilibrio ecológico y la resiliencia; estos elementos se refieren a estructuras y funcionalidades, y pueden relacionarse en los sistemas urbanos, en la medida en que su intervención y adaptación para las actividades humanas, responde a espacios tecnológicos organizados por el hombre con leyes de transmisión energéticas muy diferentes a las establecidas para organizar un sistema vivo” (p. 89).

2.4.33 Subsistema social.

García C. (2003) describe y referencia:

“Un análisis de la sociedad desde la complejidad realizado por (Cuervo, 1996) y siguiendo los planteamientos de (Lefebvre, 1981), propone que este subsistema contiene...” las relaciones sociales de reproducción, a saber de las relaciones biosicológicas entre los sexos, las edades, la organización específica de la familia, y las relaciones de producción, a saber la división espacial del trabajo y su organización, por tanto las funciones jerarquizadas” (p. 89 - 90).

El “Dispositivo Social” que configura la trama de la ciudad y de un sistema urbano, en términos de (Montoya, 1994), presenta cuatro niveles de profundidad estratificados⁴³ entre los que puede diferenciarse: un nivel superficial referido a los valores, las costumbres de la sociedad. Un nivel institucional representado por las instituciones tradicionales. Un nivel cultural referido a la capa de imágenes y símbolos de la sociedad y finalmente un nivel de construcción de planes para el futuro. Esta metáfora geológica utilizada por Montoya, soporta los elementos que interactúan y que permiten intentar comprender el inmenso y complejo dispositivo social.

A partir de estos planteamientos preliminares de Lefebvre y Montoya, puede sugerirse, inicialmente, que el sistema social está referido a la interrelación de la población, las instituciones tradicionales frente al gobierno, la política, la educación, la salud, el bienestar y con un especial énfasis, la cultura. [...] En el sistema social, el más mínimo cambio en el tiempo de uno de los componentes planteados genera variaciones para todo el sistema, la movilidad de la población y el consecuente aumento y concentración en un área determinada genera el saturamiento de la vivienda, disminuye la calidad de la vivienda, provoca congestionamientos, aumenta la contaminación, motiva el crimen y reduce cada componente de la calidad de vida (Forrester J. , 1971)” (p. 90).

2.4.34 Sistema Tecnológico.

García C. (2003) describe:

“Puede plantearse que los nuevos equilibrios del ecosistema expresados en la intervención y la gradación, son procesos que se dan mediante la utilización de la técnica y el conocimiento como aquello que (Ángel Maya, 1996) ha denominado “Paradigma Tecnológico”. Definido como el conjunto de conocimientos y técnicas que permiten un determinado dominio del medio natural y de producción de bienes y servicios, se refiere a la cultura de una unidad territorial específica y está relacionada con la creatividad científica y la capacidad de manejo instrumental”.

2.4.35 Sostenibilidad.

Gómez y Gómez (2013) describen:

“La sostenibilidad exige respetar los criterios ecológicos respecto a las tasas de renovación de los recursos naturales renovables, a unos ritmos e intensidades de uso para los recursos naturales no renovables, a la capacidad de acogida de los ecosistemas y del territorio y a la capacidad de asimilación de los vectores ambientales, aire, agua y suelo. La sostenibilidad también se refiere a la posibilidad de mantener un tejido social y una población con una calidad de vida tal que haga indeseable la emigración”.

2.4.38 Prevención.

“Evitar o reducir los problemas antes de que se produzcan y gestionar las actividades de tal forma que se afronten no solo en problemas actuales sino, con mentalidad previsor, los potenciales” (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013).

2.4.39 Prospectiva y escenarios.

Gómez y Gómez (2013) definen:

“La Prospectiva se refiere a predecir, desde el presente, los futuros posibles de las variables, componentes o sistema al que se aplica, a representarlos en modelos y a orientar a los planificadores sobre la trayectoria a seguir para avanzar hacia los que se consideran deseables.

Metodológicamente la prospectiva se utiliza para definir escenarios futuros a partir de los cuales se diseñará la imagen objetivo del sistema territorial a la que tender a largo plazo” (p. 147 - 148).

2.5 Definición de términos básicos

Abiótica. “La noción de abiótico se utiliza en el ámbito de la biología para hacer mención al medio que, por sus características, no puede albergar ninguna forma de vida” (Diccionario especializado, 2018).

Anisótropa. “Esto viene a ser una historia cuyas propiedades representativas son distintas, diversas, en las direcciones que implican” (Bracho, 2001).

Antinomia. “Conflicto entre dos leyes, principios racionales, ideas o actitudes” .

Biótica. “Referencia a aquello que resulta característico de los organismos vivos o que mantiene un vínculo con ellos” (Diccionario especializado, 2018).

Cadenas tróficas. “Cadenas alimenticias” (Diccionario especializado, 2018).

Conductividad hidráulica. “La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo” (Diccionario especializado, 2018).

Diacrónico: “Que se desarrolla a través del tiempo” (Diccionario especializado, 2018).

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general.

“Es posible desarrollar un modelo de planeamiento dinámico del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca basado en la Teoría de la Lógica Difusa, controlando sus componentes sistémicos y que permita promover un desarrollo sostenido de la provincia de Cajamarca”.

3.1.2 Hipótesis específicas.

Sub hipótesis 1 (H1).

“Utilizando el fundamento teóricos de la lógica difusa es posible modelar la dinámica de un proceso como componente de un sistema”.

Sub hipótesis 2 (H2).

“Con la construcción de un motor de inferencia en un modelo de planeamiento es posible otorgar al sistema la capacidad de un razonamiento aproximado”.

Sub hipótesis 3 (H3).

“En base indicadores de vulnerabilidad es posible priorizar las necesidades en un proceso de planeamiento del ordenamiento territorial”.

3.2 Variables

La definición de las variables corroboran el principio de Pascal: “Como todas las cosas son causadas y causadoras, ayudadas y ayudantes, mediatas e inmediatas, y todas son sustentadas por un halo natural e imperceptible, que une las más distantes y las más diferentes, considero imposible conocer las partes sin conocer el todo, tanto cuanto conocer el todo sin conocer, particularmente, las parte”.

$$G (Y) = F (X)$$

Función de variables dependientes: G (Y).- Modelo dinámico para el Plan ordenamiento territorial.

Donde Y = Y1, Y2, Y3...Yn (variables que integran los factores de cambio).

Función de variables independiente F (X).- Módulo de control basado en lógica difusa.

Donde $X = X_1, X_2, X_3 \dots X_n$ (variables de vulnerabilidad difusas).

3.3 Operacionalización de los componentes de la hipótesis

La Operacionalización de los componentes de la hipótesis, se establece en la siguiente figura, integra múltiples variables está establecida para analizar cualquier punto del sistema o subsistemas en estudio, en el que se pueden establecer n entradas y m salidas.

| Título: Modelo de Planeamiento del Ordenamiento Territorial para la Provincia de Cajamarca utilizando la Teoría de la Lógica Difusa | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|
| Hipótesis | Definición conceptual de las variables/categorías | Definición operacional de las variables/categorías | | | |
| | | Variables/ categorías | Dimensiones/ factores | Indicadores/ cualidades | Fuente o instrumento de recolección de datos |
| <p>Hipótesis general “Es posible desarrollar un modelo de planeamiento dinámico del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca basado en la Teoría de la Lógica Difusa, controlando sus componentes sistémicos y que permita promover un desarrollo sostenido de la Provincia de Cajamarca.</p> | <p>Entrada: Las entradas son los elementos participantes y activadores del sistema (Aracil & Gordillo, 1995).</p> <p>Salida: Las salidas son los efectos que se propagan dentro o fuera de los límites de un sistema, pero que no se consideran las acciones del ambiente, sino que son producto de la relación de los elementos que interactúan entre sí (Aracil & Gordillo, 1995).</p> | <p>Variables de entrada (x): Descriptores de vulnerabilidad a la exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (“</p> <p>Variables de salida (y): Factores de cambio asociados a las entradas exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (“</p> | <p>Sub sistema natural y Estructurante, construido de los Distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla de la provincia de Cajamarca.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de vulnerabilidad exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (“). - Indicadores de maximización de impacto. - De factores de cambio (“). | <p>Unidades de planeamiento y actores involucrados regionales, provinciales y distritales de Cajamarca.</p> |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| <p>Hipótesis específica H1) Utilizando el fundamento teóricos de la lógica difusa es posible modelar la dinámica de un proceso como componente de un sistema.</p> | | | | | |
| <p>Hipótesis específica 2 (H2) Con la construcción de un motor de inferencia en un modelo de planeamiento es posible otorgar al sistema la capacidad de un razonamiento aproximado.</p> | | | | | |
| <p>Hipótesis específica 3 (H3) “En base indicadores de vulnerabilidad es posible priorizar las necesidades en un proceso de planeamiento del ordenamiento territorial”.</p> | | | | | |

Figura 27: Operacionalización de los componentes de la hipótesis.

(*) VARIABLES DE ENTRADA DE f(X)

| INDICADOR | DESCRPTORES |
|---|--|
| Exposición Subsistema Natural (ESN) | Suelo – formaciones superficiales. Red hídrica. Inventario floro – faunístico. |
| Fragilidad Subsistema Natural (FSN) | Actividad hidrogeológica – erosión – degradación. Degradación y contaminación hídrica. Dinámica climática – cambios. Extinción y deforestación, falta de cobertura del suelo. |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Natural (CRSN) | Procesos de homeóstasis ecosistémico. Resiliencia, resistencia, estabilidad en flora y fauna. |
| Exposición Subsistema Estructurante Construido (ESEC) | Extensión y área de redes de líneas vitales: electricidad, gas, acueducto, alcantarillado, vías, comunicaciones. Número de edificaciones. Ubicación de obras civiles. |
| Fragilidad Subsistema Estructurante Construido (FSEC) | Características estructurales y tipología de las edificaciones. Mantenimiento de obras civiles. |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Estructurante Construido (CRSEC) | Capacidad para recuperar y establecer fluidez posterior al evento catastrófico. Planes de recuperación según complejidad de la obra. |
| Exposición Subsistema Territorial Dinámico (ESTD) | Población número y género. |

Economía: producción, manufactura, comercio. Materias primas.

Bienes culturales.

Fragilidad Subsistema Territorial Dinámico (FSTD)

Estrato social
Nivel de pobreza – hacinamiento – desempleo.

Grado de cohesión y organización social – integración política.

Escolaridad y capacitación frente a los desastres – cobertura y calidad de la educación.

Cobertura de la seguridad social, seguridad ciudadana, seguros.

Presencia institucional.

Características culturales e ideológicas.

Capacidad de Respuesta Subsistema Territorial Dinámico (CRSTD)

Organización y funcionalidad de los organismos de rescate. Agilidad en toma de decisiones.

Capacidad instalada en equipos de rescate, centros de atención hospitalaria.

Personal capacitado, sistemas de rescate, de recuperación, asistencia médica.

Dinámica económica financiera de la unidad territorial.

Planes de contingencia.

() VARIABLES DE SALIDA DE f(Y)**

Componente:

Hidráulico (H)

Factores de cambio

Disponibilidad y calidad hídrica.

Demanda hídrica para diversos usos.

Áreas de Regulación Hídrica.

| | |
|---|--|
| Orográfico (O) | Restricciones por rango de pendientes. Geoformas. |
| Edáfico (E) | Clases Agrológicas. |
| Estructura Ecológica Principal (EEP) | Áreas de aptitud forestal. Áreas de importancia Eco sistémica. Conectividad Ecológica. Áreas de patrimonio ecológico y paisajístico. Áreas reservadas para servicios públicos. Áreas de Riesgo y de amenaza con altas restricciones y/o riesgo. Áreas para la producción sostenible. |
| Movilidad (M) | Infraestructura vial. Transporte. |
| Centralidades (C) | Capacidad funcional de la centralidad. |
| Espacio Público (EP) | Espacio Público Natural. Espacio Público Construido. |
| Equipamientos Colectivos (EC) | Equipamientos Sociales. Equipamientos Comunitarios. Equipamientos Infraestructura. Equipamientos Institucionales. |
| Servicios Públicos Domiciliarios (SPD) | Acueducto (Sistemas, cobertura) y tomas de agua. Alcantarillado-Pozos séptico. Aseo o manejo de residuos sólidos. Energía. Gas y otras fuentes. |

Patrimonio Inmueble (PI)

Telecomunicaciones.

Patrimonio Arqueológico.

Espacio Público construido de Valor patrimonial.

Sectores de Valor Patrimonial.

Edificaciones de Valor Patrimonial.

Estructurado o Espacio Privado (EEP)

Estructura Predial (Unidad agrícola familiar).

Densidades e índices.

Dinámica Inmobiliaria.

Asentamientos Humanos (AH)

Cabecera Corregimental.

Centros Poblados.

Asentamientos Precarios.

Habitabilidad.

Asentamientos Localización en riesgo.

Vivienda y Áreas Residenciales (VAR)

Vivienda campestre, 2ª vivienda / Recreo.

Vivienda Campesina.

Vivienda Suburbana 1ª vivienda no asociada a sistemas productivos.

Vivienda Urbana.

Otros Usos del Suelo y Actividades Múltiples (USAM)

Uso Mixto Urbano – Rural.

Corredores de actividad múltiple.

Forestal protector.

Forestal productor.

Agropecuario.

Agroforestal.

Explotación de materiales de Construcción.

Comerciales y de Servicios.

| | |
|----------------------------------|--|
| | Industriales – Agroindustriales. |
| Dinámica Poblacional (DP) | Crecimiento poblacional (urbano y rural). Movilidad poblacional. Población en vulnerabilidad socioeconómica. |
| Tenencia (T) | Titularidad. |
| Sistemas Productivos (SP) | Sistemas productivos sostenibles. Sistemas que requieren reconversión tecnológica. Minería. Turismo. |
| Modelo de Ocupación (MO) | Funciones y formas de ocupación territorial. Clasificación del suelo |
| Modelo de Gestión (MG) | Planificación y regulación local. Planificación y regulación regional. |

CAPITULO IV

MARCO METODOLÓGICO

En concordancia con los objetivos de la presente tesis, el marco metodológico utilizado para su desarrollo, ha seguido un proceso sistemático de recolección y análisis lógico de información y estructuración del conocimiento. Este proceso fundamentalmente se refiere a la búsqueda reflexiva, en la que cada decisión adoptada se describe de manera explícita y se justifica racionalmente (Cadenas Lucero, 2015, p. 8).

En lo que corresponde al marco metodológico tomamos en consideración las apreciaciones que establece (Moreno J. C., 2002), manteniendo la investigación en el ámbito complejo, dentro de los límites de lo medible, lo cuantificable y lo experimentable, concordando con los investigadores que consideran esta perspectiva como la única claramente científica. La metodología aborda una complejidad operativa, en las variables y procedimientos de sus cuantificaciones, toma como punto de partida, a propósito, la complejidad desde sus presupuestos teóricos o desde los problemas epistemológicos, debido a que se asume que la ciencia progresa primero enfrentándose con los hechos, y luego, en la medida en que se requiera, revisando sus presupuestos.

No obstante el desarrollo de la informática ha sido un factor relevante para el análisis y explicación de fenómenos de esta naturaleza y el enfoque de la complejidad; desde las ciencias sociales, tiene en Luhmann a uno de sus principales exponentes.

En las siguientes figuras 28 y 29 se presenta la relación entre los paradigmas de la ciencia y la finalidad y los criterios de calidad en las investigaciones.

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|--------------------------------------|---|--|--|---|
| FINALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN | Explicar causas reales, predecir, controlar los fenómenos, verificar teorías, leyes para regular los fenómenos, generar conocimiento nomotético. Orientada al proceso | Comprender e interpretar la realidad, los significados de las personas, percepciones, intenciones, acciones de manera mutua y compartida. Orientada al resultado | Identificar categorías, teorías y leyes que deben proporcionar un conocimiento de la realidad que puede ser perfectible en la dialéctica del cambio del proceso histórico, emancipar sujetos, criticar e identificar el potencial para el cambio | Concebir lo que hace variar la invariación. La Noción de rizo recursivo par comprender la autoorganización. Asocia lo que está disociado. |

Figura 28. Los Paradigmas de la Ciencia y La Finalidad de la Investigación

Fuente: Escuela de Pos Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. Filosofía de la Ciencia. Dra. Carmen Castillo Díaz (2013).

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|----------------------------|---|--|---|--|
| CRITERIO DE CALIDAD | Tiene mayor validez externa. Objetividad, confiabilidad y validez | Credibilidad, confirmabilidad y transferibilidad | Práctica social como criterio de verdad, validez consensuada. La validez de la investigación recae en la acción transformada. | El valor del conocimiento y su estatuto propio está en la correlación entre el sujeto, la subjetividad y el conocimiento objetivo. |

Figura 29. Los Paradigmas de la Ciencia y Los Criterios de Calidad

Fuente: Escuela de Pos Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. Filosofía de la Ciencia. Dra. Carmen Castillo Díaz (2013).

La figura 30 presenta los aspectos metodológicos para la obtención del conocimiento de los diferentes paradigmas más importantes de la ciencia, resaltando el paradigma de la complejidad en la que destaca su ámbito multidisciplinar.

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|--|--|---|--|---|
| METODOLÓGICO ¿Cómo se obtiene el conocimiento? | <ul style="list-style-type: none"> - Procesos deductivos. - Hincapié en conceptos bien delimitados y específicos. - Verificación de las corazonadas del investigador. - Diseño fijo - Controles estrictos sobre el contexto. - Hincapié en la información cuantitativa medida; importancia del análisis estadístico - Hipótesis que buscan generalizaciones libres de contexto y tiempo, leyes, explicaciones (nomotéticas): Deductivas, Cuantitativas, causales, relacionales y correlacionales. - Datos sólidos y repetibles | <ul style="list-style-type: none"> - Procesos inductivos para describir las interconexiones de los fenómenos en condiciones naturales. - Hincapié en la totalidad de algún fenómeno; holismo. - Interpretaciones emergentes basadas en las experiencias de los participantes - Diseño flexible - Vinculación con el contexto - Hincapié en la información narrativa, análisis cualitativo de esa información insitu. - Búsqueda de patrones. - Hipótesis de trabajo en contexto y tiempo dado, explicaciones ideográficas, inductivas, cualitativas, centradas sobre diferencias - Datos ricos y profundos | <ul style="list-style-type: none"> - Procesos dialécticos. - Hincapié en la perspectiva de totalidad social. - Interpretación emergente basada en la ideología de los participantes. - Diseño dialéctico - Vinculación con el contexto. - Hincapié en la información cuali-cuantitativa - Búsqueda de relaciones contradictorias y antagónicas - Hipótesis de trabajo en contexto dinámico y cambiante, deductivas-inductivas. - Conocimiento socio-crítico mediante análisis intersubjetivo y dialéctico | <ul style="list-style-type: none"> - Procesos lógicos que se excluyen y complementan. - Manera de pensar en términos de propiedades, relaciones integrativas y contexto. Las partes sólo pueden ser comprendidas en el contexto de un conjunto mayor. - Objeto de estudio cambiante desde variados puntos de vista - La solución no surge de la aplicación de un conocimiento, éste se construye con respecto a un problema específico. - El conocimiento no se circunscribe al ámbito de ninguna disciplina particular. |

Figura 30. Los Paradigmas de la Ciencia – Metodologías.

Fuente: Escuela de Pos Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. Filosofía de la Ciencia. Dra. Carmen Castillo Díaz (2013).

4.1 Ubicación geográfica

El presente trabajo se ha desarrollado teniendo como ámbito geográfico la Provincia de Cajamarca, la misma que a la vez es capital del departamento del mismo nombre, según el Compendio Estadístico del INEI (2015), Cajamarca está ubicada al sur del departamento a 2716 m.s.n.m. en la margen este de la cadena oriental de la

Cordillera de los Andes, en el valle interandino que forman los ríos Mashcón y Chonta, en las faldas de los cerros Cumbe, La Shicuana y Cajamarcorco, a 07°09'23" latitud sur y 78°30'55 longitud oeste, con una temperatura promedio de 13° C., una superficie de 2,979.78 kilómetros cuadrados y una población proyectada al 30 de junio del 2015 de 381,725, lo que significa una densidad de 128,11 hab./km², conformada por 12 distritos.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se la realizado como un proceso interpretativo, abierto, flexible y emergente. Por el tipo es definida como una investigación aplicada, José Padrón en su publicación "Bases del Concepto de Investigación Aplicada (G., 2006), afirma que una investigación es aplicada a aquel tipo de estudio científico orientado para resolver problemas de la vida cotidiana o a controlar situaciones prácticas.

Por su alcance, mencionamos que su desarrollo ha involucrado un proceso que se inició como de tipo exploratorio pasando en su avance por una fase descriptiva, correlacional, y en algún término explicativo.

Por su diseño es no experimental y de corte longitudinal de tendencia. Su diseño es dinámico y adaptable a los cambios a través del tiempo para sus: categorías, conceptos, variables y/o sus relaciones. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Maptista Lucio, Metodología de la Investigación, 2010).

Se fundamenta en las bases teóricas de Roberto Hernández Sampieri (2010) quien define que: "La investigación correlacional asocia variables mediante un patrón

predecible para un grupo o población”. Por lo que desde nuestra perspectiva el estudio bajo el enfoque de sistemas involucra la asociación de todo un conjunto de elementos sus comportamientos y relaciones.

Del mismo modo Roberto Hernández Sampieri (2010) respecto a la investigación explicativa describe: “Está dirigido a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables. ”

Por lo que el presente trabajo, por su enfoque se adapta en su contexto a un modelo mixto cuantitativo - cualitativo (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Maptista Lucio, Metodología de la Investigación, 2010).

4.3 Método de Investigación

De manera general se ha utilizado el método científico, el mismo que consistió en: Formular, anticipar, y contrastar, donde sus principales rasgos fueron: problemático – hipotético, Inductivo _ deductivo, analítico – sintético, selectivo y preciso y su enfoque se adapta en su contexto mixto (cuantitativo y cualitativo) en lo que respecta a los tipos de datos.

En lo particular el presente trabajo está basado en la propuesta que plante García R. (2006) en su libro “Sistemas Complejos” en el que menciona lo siguiente:

[..] para el estudio de sistemas complejos dentro del marco del método científico, el trabajo debe ser interdisciplinario y responde a la necesidad de lograr una

síntesis integradora de los elementos de análisis provenientes de tres fuentes,

Incluye:

- 1) **El objeto de estudio:** sistema complejo como fuente de una problemática no reducible a la simple yuxtaposición de situaciones o fenómenos que pertenezcan al dominio exclusivo de una disciplina.
- 2) **El Marco conceptual:** conocimientos desde los cuales se aborda el objeto de estudio; es decir, el bagaje teórico desde cuya perspectiva los investigadores identifican, seleccionan y organizan los datos de la realidad que se proponen estudiar.
- 3) **Los estudios disciplinarios** que corresponden a aquellos aspectos o "recortes" de esa realidad compleja, visualizados desde una disciplina específica.

Se llega a una formulación sistémica de la problemática original que presenta el objeto de estudio. A partir de allí, se logra un diagnóstico integrado, que provee las bases para proponer acciones concretas y políticas generales alternativas que permiten influir sobre la evolución del sistema (p. 93).

"Una parte fundamental del esfuerzo de investigación es la "construcción" (conceptualización) del sistema como recorte más o menos arbitrario de una realidad que no se presenta con límites ni definiciones precisas. Esta "construcción" del sistema no es otra cosa que la construcción de sucesivos modelos que representen la realidad que se quiere estudiar. Es un proceso laborioso de aproximaciones sucesivas. El test de haber arribado a una meta satisfactoria en la definición del sistema (como "modelo" de la realidad que se está estudiando) sólo puede basarse en su capacidad de explicar un funcionamiento que dé cuenta de los hechos observados" (p. 98).

“El desafío que el estudio integrado de sistemas complejos plantea a los científicos, en particular en el caso de problemas ambientales, es la detección y el análisis de los mecanismos de deterioro físico y social. Sin ese conocimiento no es posible orientar la búsqueda de políticas alternativas“ (p. 108).

Si por "metodología" entendemos una serie de procedimientos que permiten conducir una tarea exitosa, nuestra propuesta va más allá de esta definición: se trata de una forma de proceder en la investigación derivada de una teoría -la teoría de sistemas complejos- y de un marco conceptual fundamentado epistemológicamente (p. 142).

La formulación de la propuesta, para una vía alternativa de desarrollo regional está orientada hacia la introducción de cambios necesarios para superar la situación actual de vulnerabilidad en un período de tiempo relativamente corto. La propuesta debería satisfacer dos criterios indispensables:

- 1) En primer lugar, debería intentar detener y, donde sea posible, revertir las tendencias que han significado el deterioro progresivo del sistema socio-ambiental.
- 2) Debería, en segundo lugar, ser capaz de reorientar el sistema productivo para conducirlo a un desarrollo sustentable (p. 157).

En consecuencia, la complejidad demanda métodos complejos, interrelacionados, globales, dialógicos, que incluyan el análisis y la síntesis, la inducción y la deducción.

4.4 Población, muestra y unidades de análisis

Las unidades de análisis son los distritos que conforman la provincia de Cajamarca tabla 08, los que conceptualmente identifican la población y en cantidad son doce (12). Debido a que el modelo propuesto es replicable a todos los distritos de la provincia se ha considerado una muestra por conveniencia de tres (3) distritos, Cajamarca, Magdalena y Chetilla, elegidos por su nivel de desarrollo económico.

Tabla 04.
Población por Distrito de la Provincia de Cajamarca

| Distrito | Población |
|----------------|---------------|
| Cajamarca | 152538 |
| Asunción | 10878 |
| Chetilla | 4550 |
| Cospán | 9637 |
| La Encañada | 26882 |
| Jesús | 17750 |
| Llacanora | 5791 |
| Baños del Inca | 30307 |
| Magdalena | 11150 |
| Matara | 5156 |
| Namora | 8905 |
| San Juan | 4884 |
| Total | 287828 |

Nota: El distrito de mayor población es Cajamarca y el de menor Chetilla. Fuente Proyección población INEI 2009.

La muestra se va ajustando al tipo y cantidad de Información que en cada momento se precisa. Se trabaja generalmente con muestras pequeñas y estadísticamente no representativas (Castillo, 2013).

4.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Las figuras 31 y 32 nos muestran de una manera simplificada la justificación, técnicas, instrumentos e instrumentos de registro utilizados en la elaboración del presente trabajo.

| ASPECTOS | PARADIGMA RACIONALISTA, MECANICISTA, CUANTITATIVO | PARADIGMA INTERPRETATIVO, COMPRENSIVO, CUALITATIVO | PARADIGMA CRÍTICO DIALÉCTICO | PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD |
|---|---|---|------------------------------|------------------------------|
| TÉCNICAS: INSTRUMENTOS Y ESTRATEGIAS | Cuantitativos. Medición de tests, cuestionarios, observación sistemática. Experimentación | Cualitativo, descriptivos: entrevista, estudios de caso, observación sistemática. Investigador principal instrumento. Perspectivas participantes. | Cuantitativas y cualitativas | Cuantitativas y cualitativas |

Figura 31. Técnicas, instrumentos y estrategias
Filosofía de la Ciencia. Dra. Carmen Castillo Díaz (2013).

| Técnica | Instrumento | Instrumento de registro |
|-------------------------|---|---|
| 1. Observación. | 1. Guía de observación, lista de cotejo, escala de observación. | 1. Papel y lápiz (formato), cámara fotográfica, cámara de video. |
| 2. Revisión documental. | 2. Matriz de categorías. | 2. Papel y lápiz (formato). |
| 3. Entrevista. | 3. Guía de entrevista. | 3. Grabadora, papel y lápiz, cámara de video. |
| 4. Sesión profunda | 4. Guía de observación. | 4. Grabadora, Papel y lápiz (formato), cámara fotográfica, cámara de video. |

Figura 32: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Nota. Fuente: Jackeline Hurtado, de Metodología de la Investigación Holística, Fundación Cypal (1998).

4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

El análisis e interpretación de datos se ha desarrollado como un proceso cíclico iterativo. Enfocando el problema hasta contrastar la hipótesis. La técnica para la validación, procesamiento de los datos e información del presente trabajo de investigación, ha utilizado la simulación que: "ha consistido en realizar distintas pasadas

del modelo, modificando, en cada una de ellas, determinados parámetros o relaciones". El constructor del modelo tiene la posibilidad de plantear preguntas al modelo ("diálogo"), utilizando el computador, y analizar sus respuestas o comportamiento. De este modo, ese diálogo puede ser enriquecedor para el constructor del modelo, en la medida en que puede verificar la consistencia, de sus hipótesis con respecto a la realidad y ensayar la coherencia de las mismas (Aracil & Gordillo, 1995). Implica el procesamiento de variables cualitativas y cuantitativas.

De igual manera para los aspectos de computación gráfica y simulación del modelo difuso se ha utilizado el Matlab que es una herramienta potente y estándar para cálculos en muchas ramas de la Ingeniería (Souto Iglesias, 2017).

En la parte de generación de código que permita registrar, y administrar el conocimiento en base al motor de inferencia se ha utilizado el SWI-Prolog que es una implementación portátil de la programación lógica (Prolog). Contiene un soporte para la gestión de documentos HTML / SGML / XML y RDF (Wielemaker, 2017).

Así mismo para la construcción del modelo dinámico se ha utilizado el VenSim. Se trata de un lenguaje muy potente para el desarrollo de proyectos de este tipo. Permite documentar automáticamente el modelo según se va construyendo, y crea árboles que permiten seguir las relaciones de causa efecto a lo largo del modelo. Está dotado de instrumentos para realizar análisis estadísticos (Systems, 2017).

Para la edición de textos, figuras, tablas y cálculos varios se han utilizado el Microsoft Office.

4.7 Equipos, materiales, insumos

| |
|-------------------------------|
| Laptop |
| Software especializado |
| Cámara fotográfica y de video |
| Impresora |
| Vehículo de transporte |
| CDs, USB |
| GPS |
| Tóner |
| Plumones acrílicos |
| Resaltadores y Correctores |
| Papel |
| Lapiceros |
| Internet |
| Fotocopias |
| Cargadores |
| Empastados |

Figura 33: Equipos y materiales .

4.8 Matriz de consistencia metodológica

La matriz de consistencia metodológica se presenta en detalle en la figura 33.

Matriz de consistencia metodológica

| Formulación problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Dimensiones | Indicadores | Fuentes de la Inform. | Metodología | Población y muestra |
|--|---|--|---|--|--|---|--|---|
| <p>Pregunta general: ¿En qué medida es posible que la teoría de la lógica difusa permita contribuir al proceso del planeamiento del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca caracterizado de multivariable, dinámico y no lineal; integrando un modelo que direcciona positivamente sus propuestas de desarrollo?</p> | <p>Objetivo general: Formular un modelo de plan de ordenamiento territorial dinámico que permita promover el desarrollo sostenible de la Provincia de Cajamarca, el aprovechamiento de los recursos naturales de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.</p> | <p>Hipótesis general: "Es posible desarrollar un modelo de planeamiento dinámico del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca basado en la Teoría de la Lógica Difusa, que permita promover un desarrollo sostenido de la provincia de Cajamarca".</p> | <p>Variables de entrada: Descriptor de vulnerabilidad a la exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (")</p> <p>Variables de salida: Factores de cambio asociados a las entradas exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (").</p> | <p>Sub sistema natural y Estructurante, construido de los Distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla de la provincia de Cajamarca.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de vulnerabilidad exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. ("). - Indicadores de maximización de impacto. - De factores de cambio ("). | <p>Unidades de planeamiento y actores involucrados regionales, provinciales y distritales de Cajamarca.</p> | <p>La metodología es la utilizada para estudiar los sistemas complejos. Comprende identificar sus elementos, estructuras, procesos y relaciones integrarlos como un sistema dinámico y simularlos.</p> | <p>La población comprende los distritos de la Provincia de Cajamarca y la muestra corresponde a la elección por conveniencia de los distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla.</p> |
| <p>Preguntas auxiliares: Pregunta auxiliar 1 De qué manera la lógica difusa puede modelar la</p> | <p>Objetivos específicos: d) Objetivo específico 1 Identificar los componentes de un</p> | <p>Hipótesis específicas: Hipótesis específica 1 (H1)</p> | <p>Variables de entrada: Descriptor de</p> | <p>Sub sistema natural y Estructurante, construido de</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de vulnerabilidad exposición, | <p>Unidades de planeamiento y actores</p> | <p>La metodología es la utilizada para estudiar los sistemas</p> | |

| | | | | | | | | |
|---|---|--|---|--|--|---|--|---|
| <p>dinámica de un proceso utilizando variables lingüísticas?</p> <p>Pregunta auxiliar 2 ¿Cómo se diseña e implementa la propiedad del razonamiento aproximado en el modelamiento de proceso de un sistema?</p> <p>Problema secundario 3 ¿De qué manera es posible realizar una programación y secuenciación de los factores de cambio en base a los indicadores de vulnerabilidad en el proceso de planeamiento del ordenamiento territorial?</p> | <p>sistema y simularlos bajo condiciones que permitan garantizar la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales.</p> <p>e) Objetivo específico 2 Estimar un indicador para los factores de cambio que permitan priorizar de manera eficaz las necesidades en el planeamiento del ordenamiento territorial para en la provincia de Cajamarca.</p> <p>f) Objetivo específico 3 Elaborar una programación y secuenciación de los factores de cambio.</p> | <p>Utilizando el fundamento teóricos de la lógica difusa es posible modelar la dinámica de un proceso como componente de un sistema.</p> <p>Hipótesis específica 2 (H2) Con la construcción de un motor de inferencia en un modelo de planeamiento es posible otorgar al sistema la capacidad de un razonamiento aproximado.</p> <p>Hipótesis específica 3 (H3) “En base indicadores de vulnerabilidad es posible priorizar las necesidades en un proceso de planeamiento del ordenamiento territorial”.</p> | <p>vulnerabilidad a la exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (“)</p> <p>Variables de salida: Factores de cambio asociados a las entradas exposición, fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (“)</p> | <p>los Distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla de la provincia de Cajamarca</p> | <p>fragilidad y capacidad de respuesta del sub sistema en análisis. (“).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de maximización de impacto. - De factores de cambio (“). | <p>involucrados regionales, provinciales y distritales de Cajamarca</p> | <p>complejos. Comprende identificar sus elementos, estructuras, procesos y relaciones integrarlos como un sistema dinámico y simularlos.</p> | <p>La población comprende los distritos de la Provincia de Cajamarca y la muestra corresponde a la elección por conveniencia de los distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla.</p> |
|---|---|--|---|--|--|---|--|---|

Figura 34: Matriz de consistencia metodologica.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Presentación de resultados

La información presentada en el presente capítulo, corresponde a los resultados obtenidos como pruebas simuladas de implementación del modelo propuesto, aplicado a las unidades de análisis del presente trabajo de investigación en sus principales fases.

1. Establecimiento de los límites de las unidades de análisis: Distritos de Cajamarca, Chetilla y Magdalena.

Para la validación del modelo propuesto para el plan del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca, en concordancia con los fundamentos teóricos y metodológicos de la teoría de sistemas y los sistemas complejos. En primer término se establecieron los límites de los sistemas en estudio, para nuestro caso, estos están establecidos por los límites geográficos de cada distrito objeto de estudio establecidos como muestra: Cajamarca, Chetilla y Magdalena, así como de la provincia y departamento de Cajamarca.

Desde el punto de vista de los sistemas complejos, el plan de ordenamiento territorial para el Perú como país, difiere del de cada región, así como los planes de

cada region o departamento difiere del de cada provincia y consecuentemente del de cada distrito que integran.

Estas representaciones limítrofes están definidas ilustrativamente en las figuras de los anexos 2, 3 y 4.

2. identificación de actores y su participación en el procesos de planeamiento del ordenamiento territorial de los distritos de Cajamarca, Chetilla y Magdalena.

En esta fase del proceso, para los distritos de Cajamarca, Chetilla y Magdalena como paso previo se identificaron los límites como sistemas, en esta fase se determinan los campos relacionados al planeamiento del ordenamiento territorial, así como la identificación de los actores intervinientes del sector público y sector privado seleccionados por su responsabilidad funcional de gestión (ver figura 35).

| | | CAMPOS RELACIONADOS | DISTRITOS | | | |
|-------------------------|------------------|---------------------|--|----------|-----------|---|
| | | | CAJAMARCA | CHETILLA | MAGDALENA | |
| ACTORES | EXTERNOS | PRIVADO | Sistema financiero nacional | x | | |
| | | | Sector empresarial nacional | X | | X |
| | | | Institutos, ONGs | | | |
| | | PUBLICO | Ministerio de Economía | X | X | X |
| | | | Municipalidad Provincial | X | X | X |
| | | | Gobierno Regional | X | X | X |
| | | | Gobierno Nacional | X | X | X |
| | | | Autoridades regionales y provinciales | X | X | X |
| | | | Consejos consultivos | X | X | X |
| | | | Comisión técnica regional | X | X | X |
| | | | Ministerio comercio y producción | X | | |
| | | | Ministerio transporte y comunicaciones | X | | |
| | | | Ministerio agricultura | X | | |
| | Ministerio salud | X | | | | |
| | Sector educación | X | | | | |
| | INTERNOS | PRIVADO | Sistema financiero local | | | |
| | | | Sector empresarial | | | |
| | | | Universidades privadas locales | X | | |
| | | | Essalud | | | |
| | | PUBLICO | Comunidad | X | X | X |
| Municipalidad Distrital | | | X | X | X | |
| Autoridades distritales | | | X | X | X | |

| | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|
| | | Oficina de planeamiento | X | X | X |
| | | Unidad de ordenamiento territorial | X | | |
| | | Planificación comercio y producción | X | | |
| | | Planificación transporte y comunicaciones | X | | |
| | | Planificación agricultura | X | | |
| | | Planificación salud | X | | |
| | | Planificación educación | X | | |
| | | Universidades públicas locales | | | |

Figura 35: Identificación de actores con responsabilidad funcional para la elaboración del plan de ordenamiento territorial para los distritos de: Cajamarca, Magdalena y Chetilla

Fuente: Adaptado de Ordenamiento Territorial. Autor Henao Vélez, Lucio Mauricio (2012).

La importancia de la identificación de actores es vital, dado que resulta relevante la integración de las decisiones técnicas y políticas, las licencias sociales necesarias en sus diferentes niveles, así como la participación de las entidades que tienen responsabilidades en el manejo y gestión de recursos financieros y económicos de sus determinados sectores.

3. Formación de los equipos multi e interdisciplinario, internalización del marco conceptual y metodológico sobre el plan del ordenamiento territorial.

En la práctica se encontró que las unidades de análisis: Los distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla no presentan orgánicamente equipos multi e interdisciplinarios para el desarrollo del plan del ordenamiento territorial, la

Municipalidad Provincial de Cajamarca tiene una unidad técnica para tratar los temas referentes al ordenamiento urbano.

En las entrevistas con los actores involucrados, técnicos y profesionales de los gobiernos locales distritales Municipales, manifestaron desconocer los temas relacionados con los sistemas complejos, la dinámica de sistemas y la lógica difusa, para fines de planeamiento del ordenamiento territorial, en un nivel del 90%.

La propuesta requiere que en base a los actores identificados en la fase anterior se constituyan equipos de estudio y análisis especialidades, multi e interdisciplinarios.

4. Estructuración dinámica del metaproceso: Sistema urbano del distrito de Cajamarca.

Como lo especifican los fundamentos del paradigma de la complejidad y la teoría general de sistemas, el proceso de planificación requiere para su análisis y estudio, la representación dinámica de sus procesos, identificando los elementos que intervienen así como las relaciones que existen entre ellos, basados en una abstracción de la realidad, integrados como un sistema complejo en una totalidad incluyendo sus subsistemas intervinientes.

En la práctica a pesar de la ley de Modernización del Estado vigente, la cual exige que las entidades del estado establezcan y documenten sus procesos de gestión, al respecto se observa que las unidades de análisis como son: Los distritos de Cajamarca, Chetilla y Magdalena, no han documentado sus procesos para el

planeamiento del ordenamiento territorial y por ende no han definido adecuadamente sus metas procesos.

A manera de ejemplo en la figura 36, se muestra un diagrama Forrester del diseño de una parte del meta proceso y su dinámica como sistema del crecimiento urbano del distrito de Cajamarca, mediante, el cual nos permite estudiarlo de una manera integral.

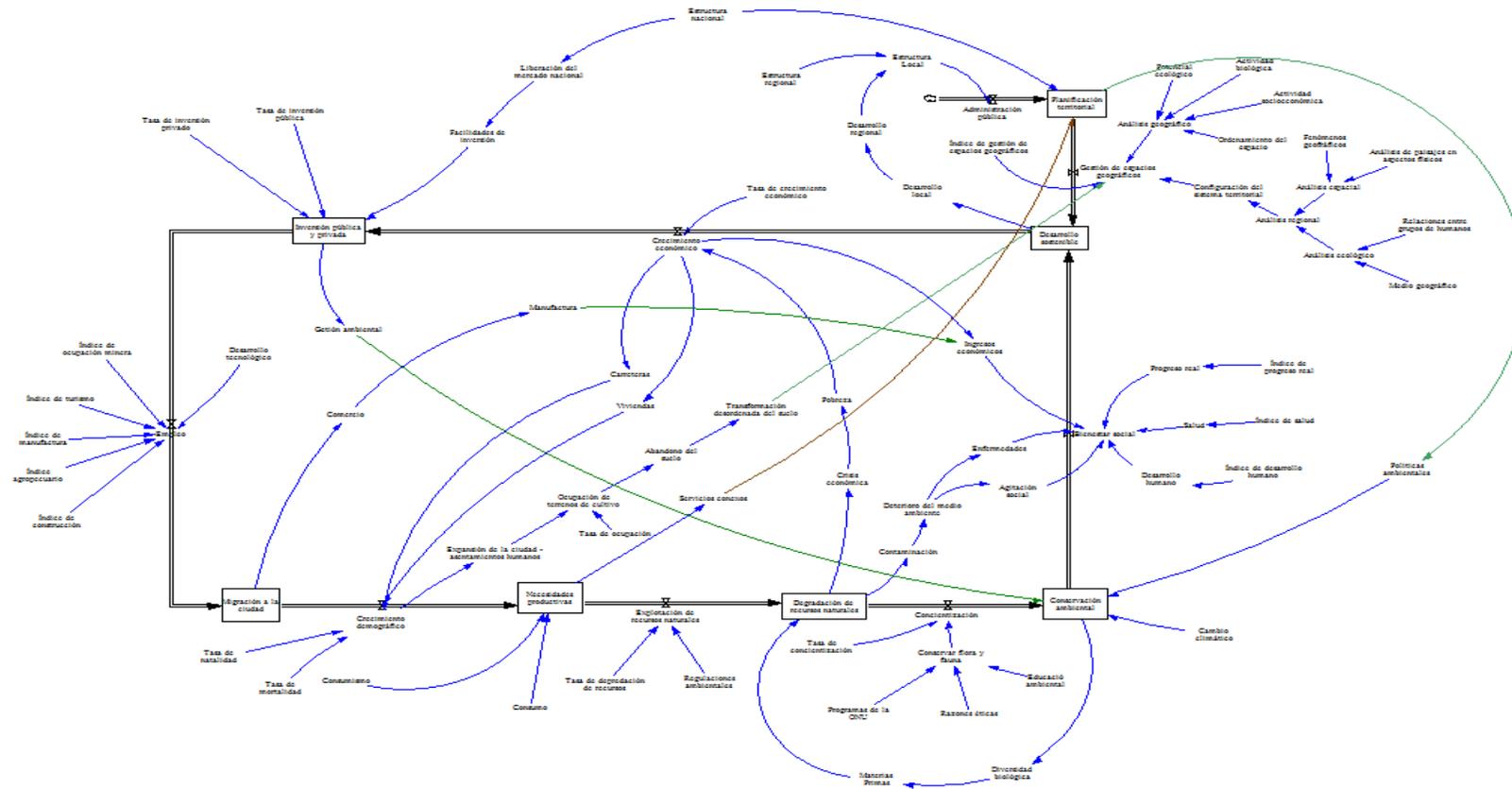


Figura 36. Diagrama Forrester, de parte metaproceso desarrollo urbano del distrito de Cajamarca.

5. Gestión de las bases de: Datos relacionales, difusas y estructuración de la información y conocimiento.

Edgar Morin (1999), expresa que resulta extremadamente complejo pasar de la teoría a la práctica y mucho más aún como modo de vida en los análisis y estudios como sistemas y a nivel interdisciplinario, por lo que el aporte que nos brindan las tecnologías de información y comunicaciones resulta vital y es la parte fundamental del aporte del presente trabajo.

Esta etapa constituye el componente ontológico del modelo, registro y gestión de la data, información y conocimiento del sistema. En base a la arquitectura del prototipo propuesto se encontró que la Municipalidad Provincial de Cajamarca presenta un avance en la gestión de base de datos relacionales. En Las municipalidades de Chetilla y Magdalena sus procesos de planeamiento los realizan en base a herramientas clásicas de Word y Excel.

La figura presentada en el anexo 05, muestra la Arquitectura prototipo adaptado de la propuesta de José Tomás Cadenas, esta propuesta ha sido modificada y ampliada con la incorporación del módulo de control fuzzy.

Módulo de Control Fuzzy.- También llamado, módulo de gestión difuso, comprende los componentes de: Fuzificación, motor de inferencia y bases de conocimiento y componente de defuzificación. De estos componentes el motor de inferencia interactúa con la base de conocimientos es la parte que le brinda las características de razonabilidad aproximada al modelo.

Respecto a estos tipos de desarrollos para el planeamiento del ordenamiento territorial en base variables difusas en las unidades de análisis, no han sido implementadas.

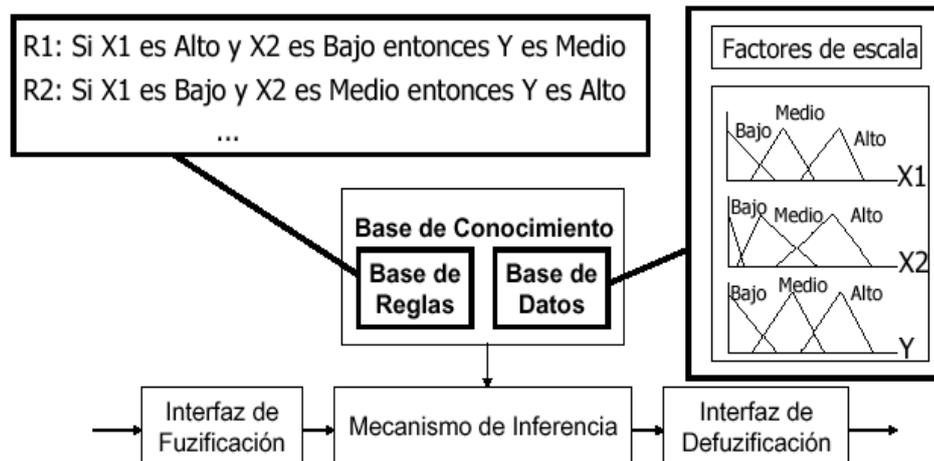


Figura 37. Módulo constructor del motor de inferencia y base de conocimientos.

Fuente. Adaptado del modelo de Herbert, Academic Publishers, Fuzzy Set Theory and its Application, (1996).

Con la finalidad de mostrar el uso de la lógica difusa en la gestión del conocimiento en los procesos del modelo propuesto, a continuación se expone de manera detallada el diseño, del controlador difuso (figura 37). La selección de variables como elementos de entrada para el módulo de fuzificación se basó en el modelo Flow chart of the proposed methodology descrito en la figura 38:

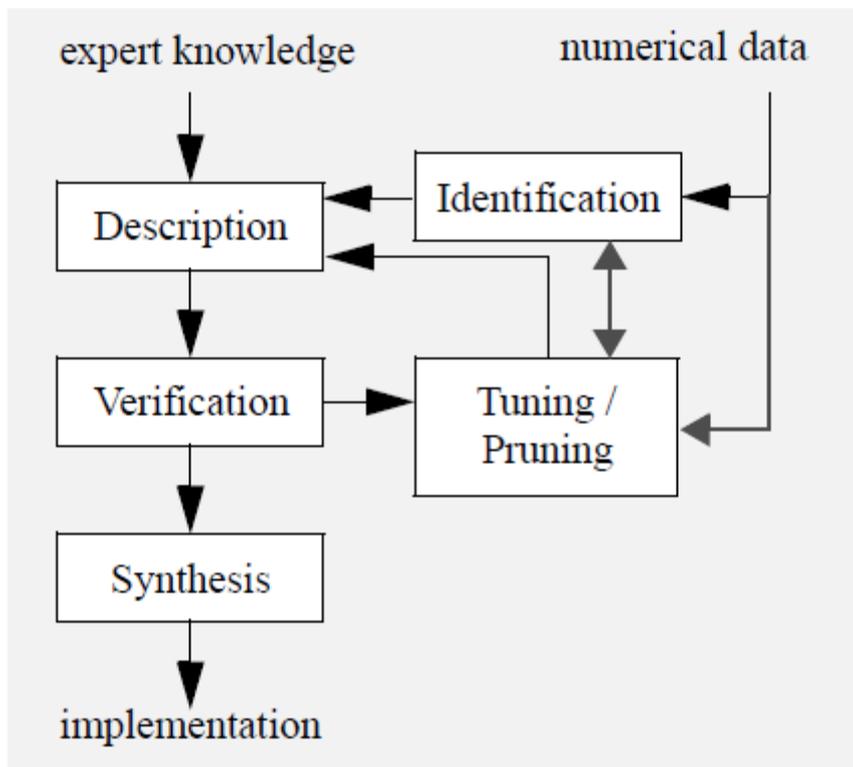


Figura 38. Flow chart of the proposed methodology.

Fuente: Moreno-Velo, F.J.; Baturone, I; Barrio, F. J.; Sánchez-Solano, S.; Barriga, A.; A DESIGN METHODOLOGY FOR COMPLEX FUZZY SYSTEMS. European Symposium on Intelligent Technologies, Hybrid Systems and their implementation on Smart Adaptive Systems, (2003).

Este proceso constituye la selección y conexión de variables de entrada seleccionadas y que interactúan para la generación de una salida única como elemento razonado de decisión. Por aspecto de que el proceso de planeamiento involucra un gran volumen de datos e información, a manera de ejemplo como los elementos de entrada se ha seleccionado los descriptores correspondientes a la fragilidad de los subsistemas, el módulo de inferencia relaciona con la base de conocimiento constituyendo las reglas difusas, las salidas definen los factores de cambio, a los cuales se asocian los proyectos intervención. Para este proceso se ha utilizado la función fuzzy establecido en el Matlab.

De manera análoga la figura 39 muestra de una manera conceptual el módulo general de control fuzzy, seguidamente se describen los componentes del ejemplo.

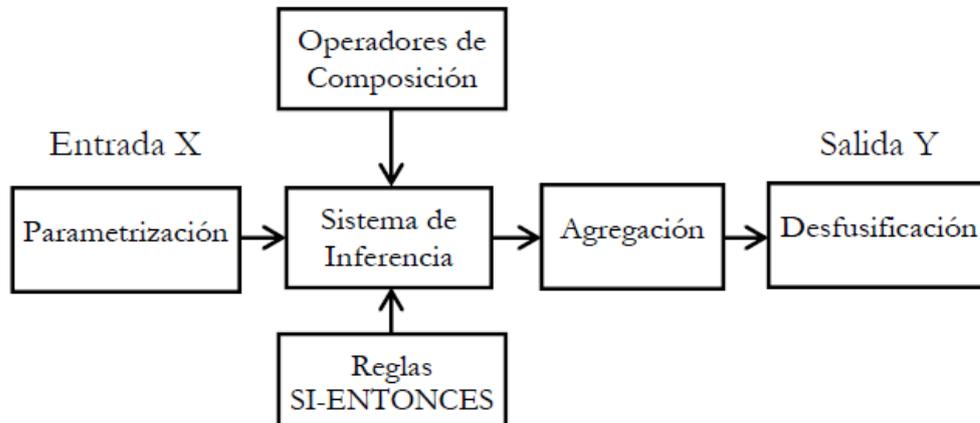


Figura 39. Esquema de inferencia difusa

Fuente: Lisette Santana Jiménez, Una aplicación de la lógica difusa a la evaluación del balance de riesgos de la inflación y del crecimiento macroeconómico, Ciencia y Sociedad, Instituto Tecnológico de Santo Domingo (2013).

A. Módulo de fuzificación.

Unidad de Análisis: Distrito de Cajamarca, Magdalena y Chetilla

a) Definición de las variables lingüísticas:

Variable de entrada: Fragilidad del subsistema natural (FSN)

Descriptorios (variables lingüísticas de entrada):

1. Actividad hidrogeológica
2. Erosión
3. Degradación
4. Dinámica climática
5. Extinción y deforestación

Variables de Salida: Factores de cambio:

En base a los factores de cambio, establecidos como elementos de salida (figura 40), para uso demostrativo se focalizó la atención en los factores:

1. Áreas de riesgo y amenazas
2. Áreas de regulación hídrica
3. Áreas de aptitud forestal

Los factores de cambio establecidos para las unidades de análisis están definidos en las figuras 41, 42 y 43.

Gráficamente en la figura 40 se exponer el caso.

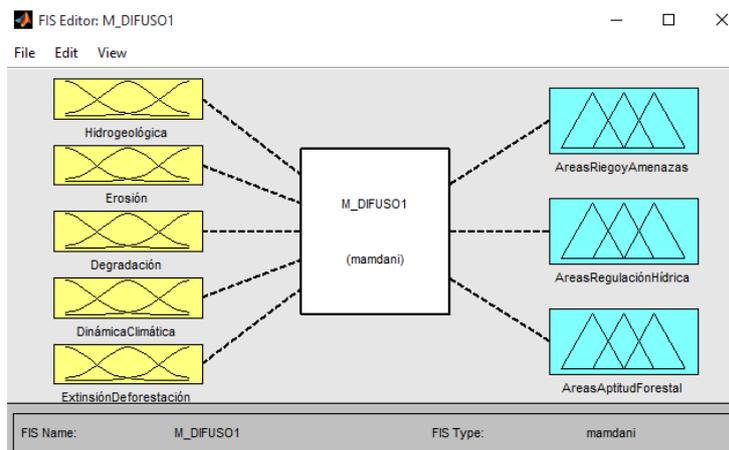


Figura 40: Definición de las variables de entrada y salida

Comentario: La figura anterior muestra la configuración del sistema del tipo Mamdani que opera y relaciona a las variables de entrada para generar las salidas difusa del ejemplo.

| INDICADOR (X) | ETIQUETA | FACTOR DE CAMBIO (Y) | CAJAMARCA | | |
|--|------------------------------------|---|-----------|-------|------|
| | | | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Exposición Subsistema Natural (ESN) Fragilidad Subsistema Natural (FSN) Capacidad de Respuesta | ALTO | Disponibilidad y calidad hídrica | X | | |
| | | Áreas de Regulación Hídrica | | | X |
| | | Áreas de aptitud forestal | | | X |
| | MEDIO | Áreas de importancia Eco sistémica | | | X |
| | | Conectividad Ecológica | | | X |
| | | Áreas de patrimonio ecológico y paisajístico | | | X |
| | BAJO | Áreas reservadas para servicios públicos | X | | |
| | | Áreas de Riesgo y de amenaza con altas restricciones y/o riesgo | | | X |
| | | Áreas para la producción sostenible | | | X |
| Exposición Subsistema Estructurante Construido (ESEC) Fragilidad Subsistema Estructurante Construido (FSEC) Capacidad de Respuesta Subsistema Estructurante Construido (CRSEC) | ALTO | Infraestructura vial | X | | |
| | | Transporte | | X | |
| | | Capacidad funcional de la centralidad | X | | |
| | | Espacio Público Natural | X | | |
| | | Espacio Público Construido | X | | |
| | | Acueducto (Sistemas, cobertura) y tomas de agua | X | | |
| | | Alcantarillado-Pozos séptico otros | | X | |
| | | Aseo o manejo de residuos sólidos | X | | |
| | | Patrimonio Arqueológico | | | X |
| | | Espacio Público construido de Valor Patrimonial | | | X |
| | | Sectores de Valor Patrimonial | | | X |
| | Edificaciones de Valor Patrimonial | | X | | |
| | | Dinámica Inmobiliaria | X | | |
| Centros Poblados | | | X | | |
| Asentamientos Precarios habitabilidad | | | | X | |

| | | | | | |
|--|-------|--|---|---|---|
| | MEDIO | Asentamientos Localización en Riesgo | | X | |
| | | Vivienda campestre, vivienda / Recreo | | X | |
| | | Vivienda Campesina | | | X |
| | | Vivienda Suburbana, vivienda no asociada a sistemas productivos. | X | | |
| | | Vivienda Urbana | X | | |
| | | Uso Mixto Urbano - Rural | X | | |
| | | Corredores de actividad múltiple. | X | | |
| | | Agropecuario | X | | |
| | | Agroforestal | X | | |
| | BAJO | Explotación de materiales de Construcción. | X | | |
| Comerciales y de Servicios | | X | | | |
| Industriales - Agroindustriales | | X | | | |
| Exposición Subsistema Territorial Dinámico (ESTD) Fragilidad Subsistema Territorial Dinámico (FSTD) Capacidad de Respuesta Subsistema Territorial Dinámico (CRSTD) | ALTO | Crecimiento poblacional (urbano y rural) | | X | |
| | | Población en vulnerabilidad socioeconómica | | | X |
| | MEDIO | Sistemas productivos sostenibles | X | | |
| | | Sistemas que requieren reconversión tecnológica | | | X |
| | BAJO | Turismo | X | | |
| Planificación y regulación local | | X | | | |

Figura 41: Etiquetas para los factores de cambio del distrito de Cajamarca

Nota: Fuente, adaptado de Ordenamiento Territorial, autor Henao Vélez, Lucio Mauricio (2012)

| INDICADOR (X) | ETIQUETA | FACTOR DE CAMBIO (Y) | MAGDALENA | | |
|--|------------------------------------|---|-----------|-------|------|
| | | | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Exposición Subsistema Natural (ESN) Fragilidad Subsistema Natural (FSN) Capacidad de Respuesta | ALTO | Disponibilidad y calidad hídrica | | X | |
| | | Áreas de Regulación Hídrica | | X | |
| | | Áreas de aptitud forestal | | X | |
| | MEDIO | Áreas de importancia Eco sistémica | | | X |
| | | Conectividad Ecológica | | | X |
| | | Áreas de patrimonio ecológico y paisajístico | | X | |
| | BAJO | Áreas reservadas para servicios públicos | X | | |
| | | Áreas de Riesgo y de amenaza con altas restricciones y/o riesgo | | | X |
| | | Áreas para la producción sostenible | | X | |
| Exposición Subsistema Estructurante Construido (ESEC) Fragilidad Subsistema Estructurante Construido (FSEC) Capacidad de Respuesta Subsistema Estructurante Construido (CRSEC) | ALTO | Infraestructura vial | | X | |
| | | Transporte | X | | |
| | | Capacidad funcional de la centralidad | | X | |
| | | Espacio Público Natural | | X | |
| | | Espacio Público Construido | X | | |
| | | Acueducto (Sistemas, cobertura) y tomas de agua | X | | |
| | | Alcantarillado-Pozos séptico otros | | X | |
| | | Aseo o manejo de residuos sólidos | X | | |
| | | Patrimonio Arqueológico | X | | |
| | | Espacio Público construido de Valor Patrimonial | X | | |
| | | Sectores de Valor Patrimonial | X | | |
| | Edificaciones de Valor Patrimonial | X | | | |
| | MEDIO | Dinámica Inmobiliaria | X | | |
| | | Centros Poblados | | X | |
| Asentamientos Precarios habitabilidad | | | | X | |
| | | Asentamientos Localización en Riesgo | | X | |

| | | | | | |
|--|-------|--|---|---|---|
| | | Vivienda campestre, vivienda / Recreo | | X | |
| | | Vivienda Campesina | | X | |
| | | Vivienda Suburbana, vivienda no asociada a sistemas productivos. | | X | |
| | | Vivienda Urbana | | X | |
| | | Uso Mixto Urbano - Rural | | X | |
| | | Corredores de actividad múltiple. | X | | |
| | | Agropecuario | | X | |
| | | Agroforestal | | X | |
| | BAJO | Explotación de materiales de Construcción. | X | | |
| | | Comerciales y de Servicios | X | | |
| Industriales - Agroindustriales | | X | | | |
| Exposición Subsistema Territorial Dinámico (ESTD) Fragilidad Subsistema Territorial Dinámico (FSTD) Capacidad de Respuesta Subsistema Territorial Dinámico (CRSTD) | ALTO | Crecimiento poblacional (urbano y rural) | X | | |
| | | Población en vulnerabilidad socioeconómica | | | X |
| | MEDIO | Sistemas productivos sostenibles | X | | |
| | | Sistemas que requieren reconversión tecnológica | | | X |
| | BAJO | Turismo | X | | |
| | | Planificación y regulación local | X | | |

Figura 42: Etiquetas para los factores de cambio del distrito de Magdalena.

Nota: Fuente, adaptado de Ordenamiento Territorial, autor Henao Vélez, Lucio Mauricio (2012).

| INDICADOR (X) | ETIQUETA | FACTOR DE CAMBIO (Y) | CHETILLA | | |
|--|------------------------------------|---|----------|-------|------|
| | | | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Exposición Subsistema Natural (ESN) Fragilidad Subsistema Natural (FSN) Capacidad de Respuesta | ALTO | Disponibilidad y calidad hídrica | X | | |
| | | Áreas de Regulación Hídrica | X | | |
| | | Áreas de aptitud forestal | | | X |
| | MEDIO | Áreas de importancia Eco sistémica | | X | |
| | | Conectividad Ecológica | | | X |
| | | Áreas de patrimonio ecológico y paisajístico | | X | |
| | BAJO | Áreas reservadas para servicios públicos | X | | |
| | | Áreas de Riesgo y de amenaza con altas restricciones y/o riesgo | | X | |
| | | Áreas para la producción sostenible | X | | |
| Exposición Subsistema Estructurante Construido (ESEC) Fragilidad Subsistema Estructurante Construido (FSEC) Capacidad de Respuesta Subsistema Estructurante Construido (CRSEC) | ALTO | Infraestructura vial | X | | |
| | | Transporte | X | | |
| | | Capacidad funcional de la centralidad | X | | |
| | | Espacio Público Natural | X | | |
| | | Espacio Público Construido | X | | |
| | | Acueducto (Sistemas, cobertura) y tomas de agua | X | | |
| | | Alcantarillado-Pozos séptico otros | X | | |
| | | Aseo o manejo de residuos sólidos | X | | |
| | | Patrimonio Arqueológico | | X | |
| | | Espacio Público construido de Valor Patrimonial | X | | |
| | | Sectores de Valor Patrimonial | | X | |
| | Edificaciones de Valor Patrimonial | X | | | |
| | | Dinámica Inmobiliaria | X | | |
| | | Centros Poblados | X | | |
| Asentamientos Precarios habitabilidad | | | | X | |

| | | | | | |
|--|-------|--|--|---|---|
| | MEDIO | Asentamientos Localización en Riesgo | | | X |
| | | Vivienda campestre, vivienda / Recreo | | X | |
| | | Vivienda Campesina | | X | |
| | | Vivienda Suburbana, vivienda no asociada a sistemas productivos. | | X | |
| | | Vivienda Urbana | X | | |
| | | Uso Mixto Urbano - Rural | X | | |
| | | Corredores de actividad múltiple. | X | | |
| | | Agropecuario | X | | |
| | | Agroforestal | X | | |
| | | BAJO | Explotación de materiales de Construcción. | X | |
| Comerciales y de Servicios | X | | | | |
| Industriales - Agroindustriales | X | | | | |
| Exposición Subsistema Territorial Dinámico (ESTD) Fragilidad Subsistema Territorial Dinámico (FSTD) Capacidad de Respuesta Subsistema Territorial Dinámico (CRSTD) | ALTO | Crecimiento poblacional (urbano y rural) | | X | |
| | | Población en vulnerabilidad socioeconómica | | | X |
| | MEDIO | Sistemas productivos sostenibles | X | | |
| | | Sistemas que requieren reconversión tecnológica | | | X |
| | BAJO | Turismo | X | | |
| Planificación y regulación local | | X | | | |

Figura 43: Etiquetas para los factores de cambio del distrito de Chetilla

Nota: Fuente, adaptado de Ordenamiento Territorial, autor Henao Vélez, Lucio Mauricio (2012).

Las figuras 44 y 45, nos muestran de manera gráfica los dominios físicos de las del conjunto difuso correspondiente a las entradas y las salidas del caso ejemplo.

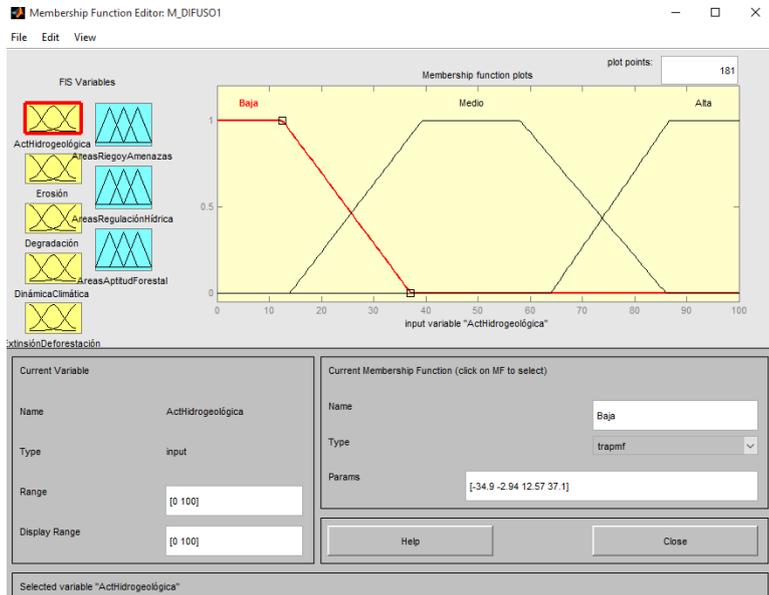


Figura 44: Definición de dominios a las etiquetas de las variables de entrada

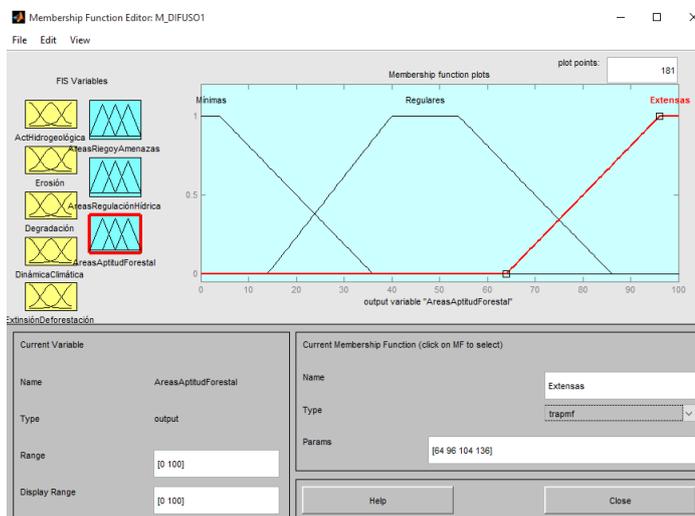


Figura 45: Definición de dominios a las etiquetas de las variables de salida

Los dominios para las diferentes variables se han establecido con valores de rangos entre 0 y 100 que representan porcentajes y como operador de

composición se ha utilizado la intersección, que por definición está asociado a los valores mínimos de las membresías de los respectivos conjuntos difusos.

B. Motor de inferencias.

El motor de inferencias es el módulo que está compuesto por la base de reglas difusas, expresadas como unidades de conocimiento, este módulo es que le brinda las características de razonabilidad al modelo.

Componentes de la base de reglas.

Las reglas difusas se constituyen en unidades de conocimiento, integra e interactúan los elementos de entrada y de salida, establecen el nivel de inferencia del modelo (figuras 46, 47 y 48), ha sido implementado con la implicancia de Mandani.

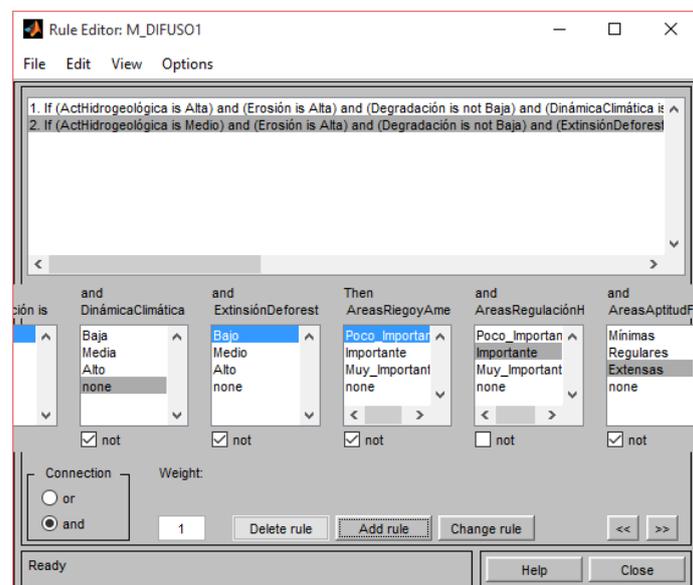


Figura 46: Establecimiento de las reglas difusas.

Por la cantidad de datos, información y conocimiento que se utiliza y genera, el modelo en su implementación, propio a los proyectos ligados a la Inteligencia Artificial, para su fase de implementación, necesariamente requiere de la utilización de programas computacionales. Como ya se viene expresando para aspectos didácticos y demostrativos se ha implementado dos módulos, desarrollados en el Matlab y Swi Prolog.

C. Módulo de defuzificación.

En esta fase denominado módulo de defuzificación, se ha utilizado el método de valor del centro de masas (centroide) que calcula y define la decisión final y salida única.

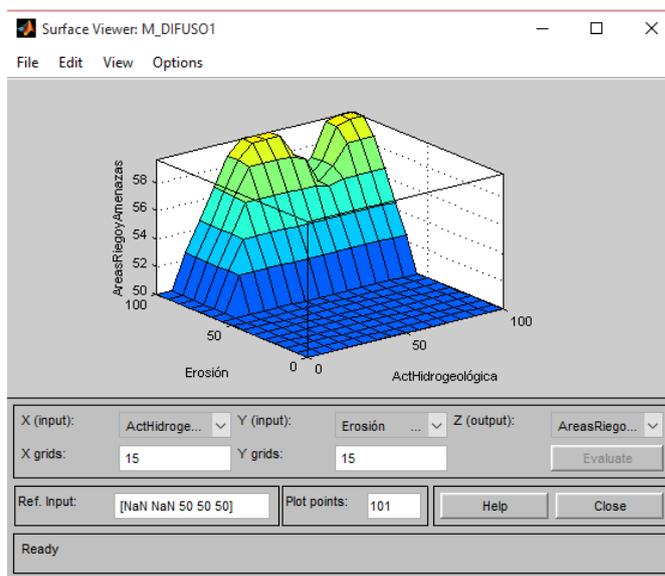


Figura 47: Superficie de las variables erosión y actividad hidrogeológica.

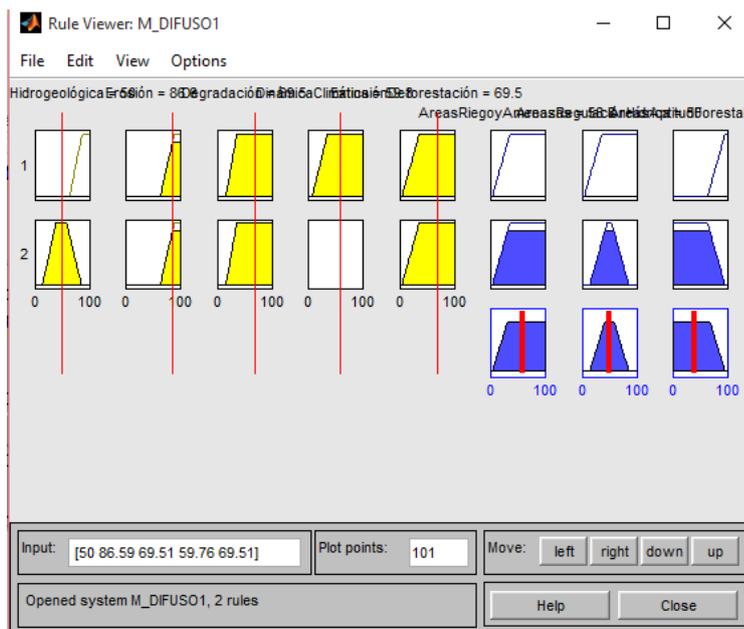


Figura 48: Dinámica entre las variables de entrada y las variables de salida del modelo difuso

Las salidas del módulo de fuzificación son cálculos de los procesos que integran el módulo, definen la decisión final en este escenario. Como reflexión final como parte fundamental de la propuesta, mencionamos que mediante esta implementación obtenemos el conocimiento explícito en base al conocimiento tácito aportado de todos actores participantes, base del planeamiento.

6. Formulación sistémica de la problemática y diagnostico integrado.

Los distritos de Cajamarca, Chetilla y Magdalena no han formulado un Plan de Ordenamiento Territorial integral. La Municipalidad Provincial de Cajamarca, dentro de sus funciones tiene la responsabilidad del ordenamiento territorial, ha formulado un Plan de Desarrollo Urbano, (disponible en parte en su portal Web), dentro del marco de su Plan estratégico y operativo. Como muestran los datos del plan anual inversiones, resaltan proyectos de: Plataformas deportivas, asfalto y reasfaltado de pistas y construcción de veredas, en contraste con las verdaderas necesidades.

Como uno de los elementos más vulnerables del distrito de Cajamarca tenemos a la campiña, que frente al crecimiento de la ciudad, su pérdida se mantiene latente, no encontrándose acciones coherentes y válidas para su conservación.

7. Determinación del escenario objetivo.

La Gobierno Regional de Cajamarca presenta un avance importante respecto a la zonificación ecológica de la Region Cajamarca. La Municipalidad Provincial de Cajamarca por su parte ha planteado un plan urbano de desarrollo. El escenario objetivo lo podríamos identificar en la visión institucional, textualmente descrito en su plan estratégico para de la provincia de Cajamarca la misma a la letra dice:

“La población de la provincia de Cajamarca al 2021, cuenta con servicios básicos de calidad, con instituciones transparentes y competentes, fortalecidas y unidas en la práctica de valores, su identidad cultural y participación democrática, con territorio ordenado y seguro, con una economía diversificada, competitiva y responsable con el cuidado del medio ambiente, que garantice el desarrollo inclusivo y sostenible”.

En la verificación sobre el establecimiento del escenario objetivo para fines del ordenamiento territorial, en los distritos de Chetilla y Magdalena, se verificó que solamente tienen descrito su visión en sus planes estratégicos institucionales.

8. Identificación de perturbaciones.

El registro de las ocurrencias de perturbaciones (riesgos y desastre) acontecidos en los distritos de Cajamarca, Chetilla y Magdalena con fines de planeamiento, se verificó que no se tiene un registro documental escrito, ni digital de estos eventos, consecuentemente al no registrar estos datos, no se han elaborado estimaciones ni pronósticos de estos eventos para el futuro, siendo esta la razón por la que año a año los desastres sorprenden con sus efectos en distintos puntos y localizaciones.

La realidad en los últimos años establecen la presencia de perturbaciones de tipo climático, como son: El fenómeno del niño, El fenómeno de la niña y el niño costero, perturbaciones que deben ser consideradas como elementos importantes para aspectos de planeamiento y gestión del desarrollo.

9. Desestructuración del sistema en sub sistemas.

En esta etapa el modelo propuesto establece desestructurar el sistema (meta procesos) en subsistemas, para su estudio y análisis por los equipos multi e interdisciplinarios y de tal manera que sea posible facilitar las propuestas de solución.

Del macro proceso (sistema), se establecen los subsistemas de análisis, bajo los mismos fundamentos teóricos y metodológicos, que describen su dinámica. Para este caso a manera de ejemplo se ha definido el subsistema de análisis: Crecimiento poblacional del distrito de Cajamarca (figura 49), se presentan algunas simulaciones y gráficas relacionadas de sus variables

intervinientes como respuesta de la dinámica del sistema (figuras 50, 51, 52 y 53).

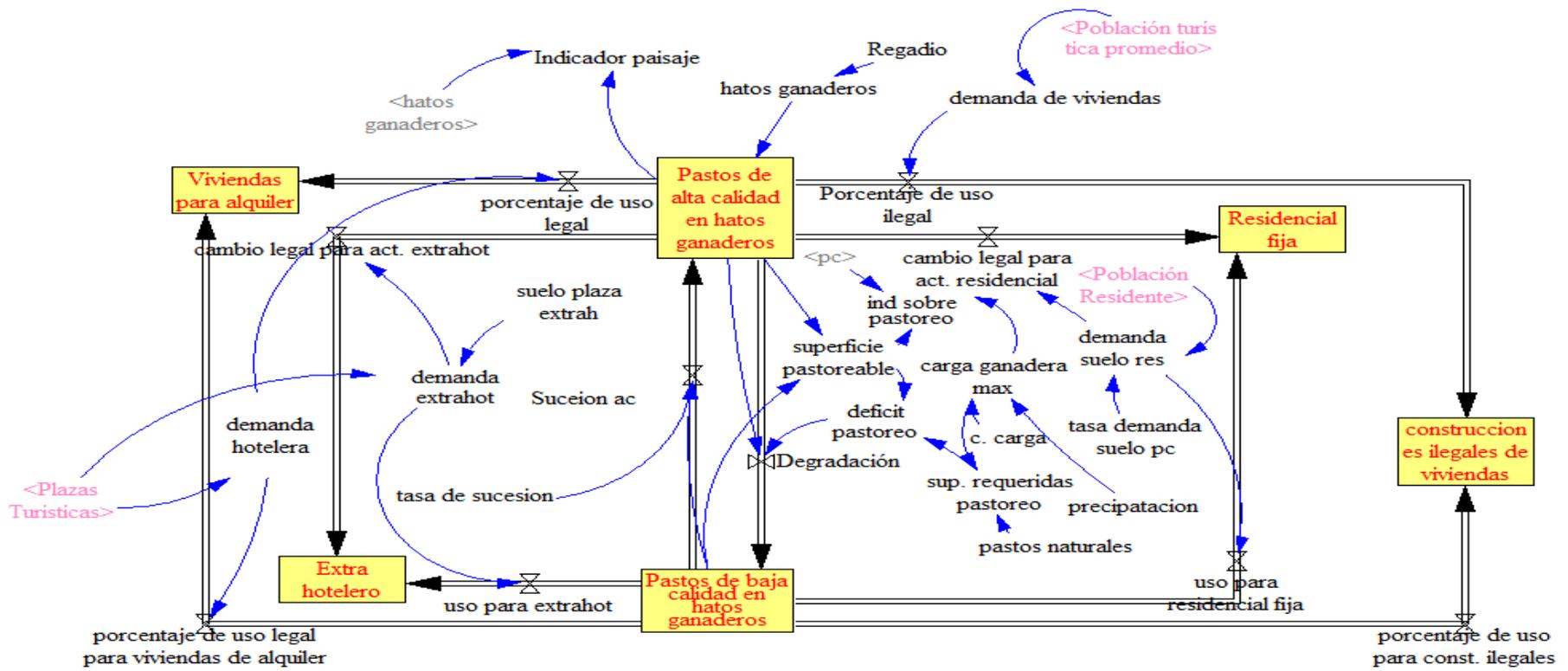


Figura 50. Diagrama de Forrester de la dinámica del Subsistema crecimiento poblacional del distrito de Cajamarca (B).

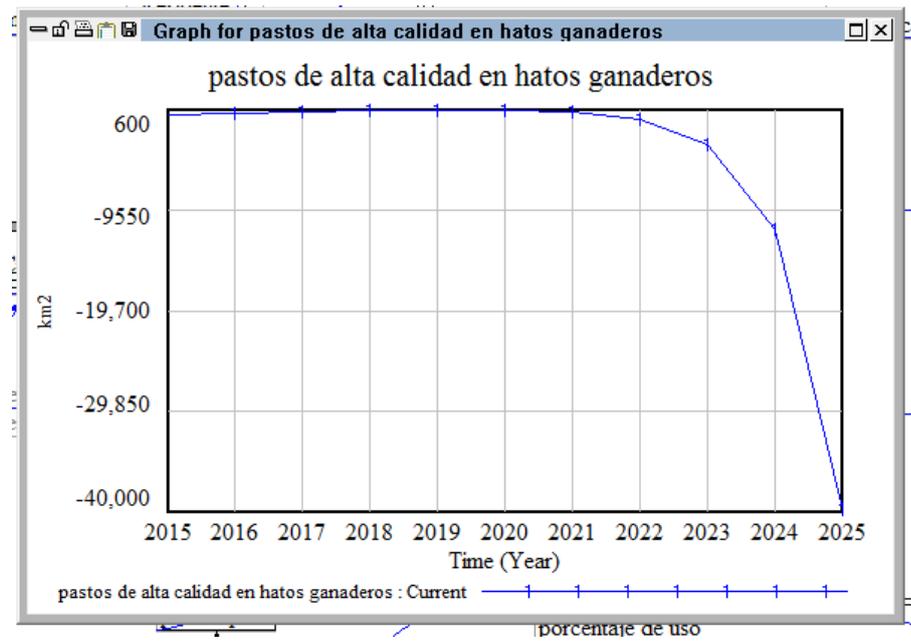


Figura 51. Evolución de los pastos cultivados en el distrito de Cajamarca, proyección 2015 – 2025.

Comentario: En un horizonte de simulación de 10 años, 2015 – 2025, los resultados muestran que a nivel del distrito de Cajamarca las extensiones de pastos cultivados están en una creciente disminución.

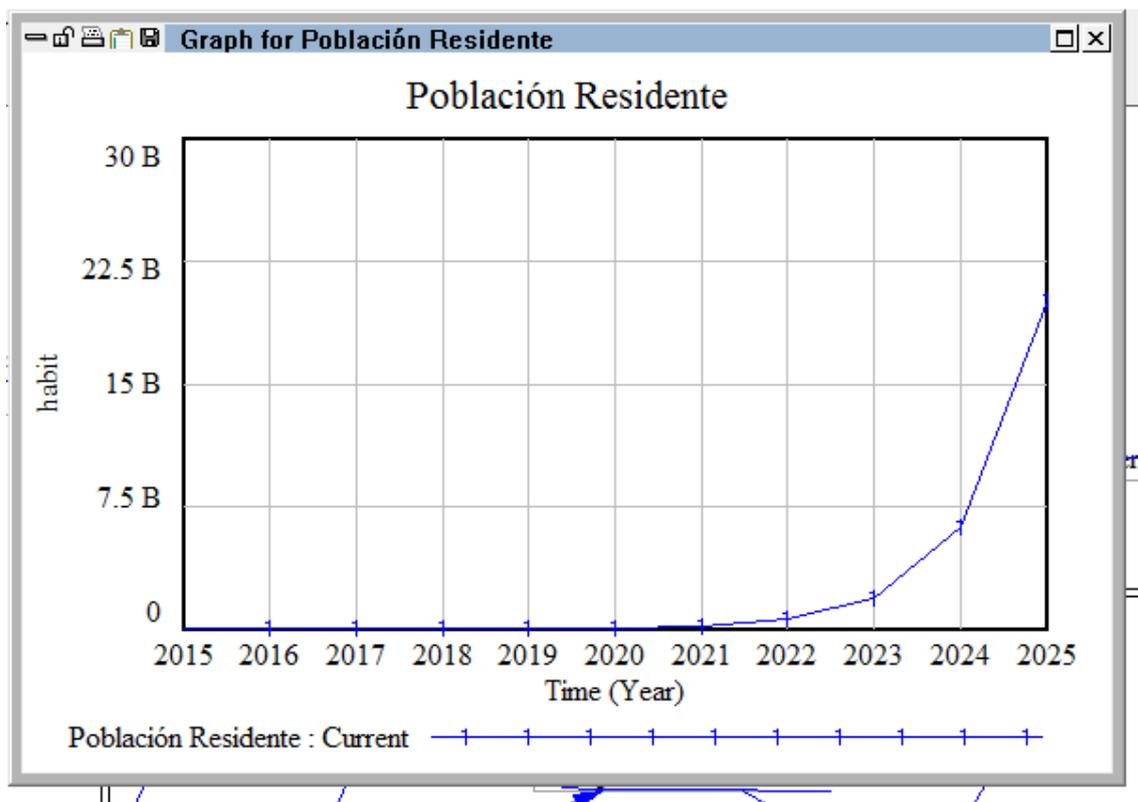


Figura 52. Evolución de la población residente en el distrito de Cajamarca, proyección (2015 – 2025).

Comentario: En un horizonte de simulación de 10 años 2015 – 2025, los resultados muestran que a nivel del distrito de Cajamarca, a nivel de población residente tienden a un crecimiento continuo.

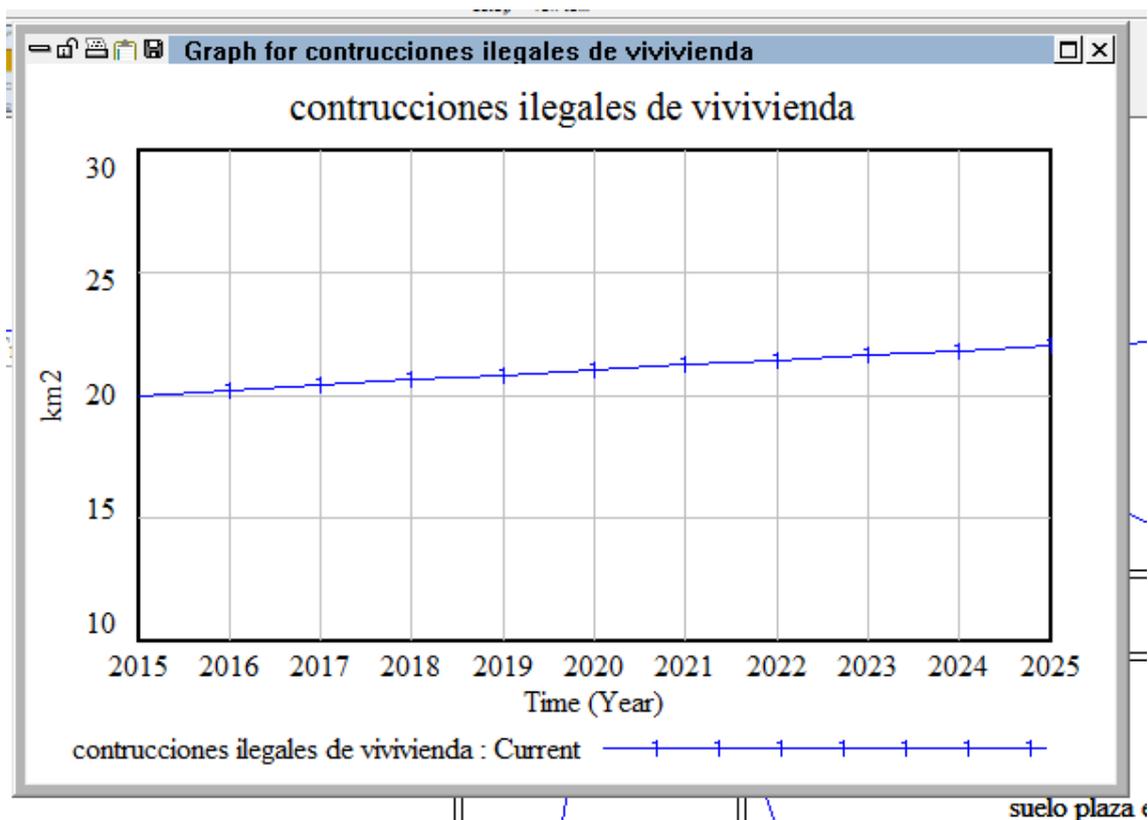


Figura 53. Evolución de las construcciones ilegales de viviendas en el distrito de Cajamarca (2015 – 2025).

Comentario: En un horizonte de simulación de 10 años (2015 – 2025), los resultados muestran que a nivel del distrito de Cajamarca, bajo las condiciones actuales los espacios usados par construcciones ilegales van incrementándose.

10. Establecimiento de hipótesis.

La metodología de los sistemas complejos requiere de la determinación y establecimiento de hipótesis de trabajo para el correcto desenvolvimiento de los equipos de investigación y análisis (figura 54). Al respecto la hipótesis principal del presente trabajo de tesis, sugiere transcribirse y plantearse en términos de sus estados principales, con el fin de evaluar y explicar los

comportamientos de los subsistemas, las contrastaciones de estas hipótesis serían caso un trabajo en su implementación real.

| |
|---|
| HIPÓTESIS: “Es posible desarrollar un modelo de planeamiento dinámico del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca basado en la Teoría de la Lógica Difusa, que permita promover un desarrollo sostenido del sector productivo de la provincia de Cajamarca”. |
| ESTADO ESTACIONARIO: Situación del suelo del campaña del distrito de Cajamarca, Magdalena y Chetilla. |
| ESTADO DESESTRUCTURADO: Migración, turismo, crecimiento urbano y transporte de la ciudad de Cajamarca representados como elementos de un sistema integral. |
| ESTADO REESTRUCTURADO: Distrito de Cajamarca con su recursos naturales, desarrollo social y económico bajo control |

Figura 54. La hipótesis propuestas y estados para la unidad de análisis: Distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla

11. Determinación de los factores de cambio para la selección de los proyectos de intervención.

En esta etapa el modelo propone como elemento fundamental del plan del ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca, la identificación de los factores de cambio (figura 55), generados por el módulo difuso del modelo, esto, con la finalidad de identificar los proyectos de intervención, y clasificarlos por niveles: De primer nivel, son los proyectos que se constituyen como respuestas a los análisis complejos, realizados en base a la situación real y sus tendencias en el nivel fenomenológico más inmediato. La diferencia entre los niveles de análisis es de relevancia importancia. Los metaproceso de segundo y tercer nivel son los de alcance regionales y nacionales respectivamente con actores diferentes pero interrelacionados.

Los proyectos de intervención buscan mantener bajo control los procesos de estudio, donde es posible la reversión de las tendencias de deterioro del

sistema socio-ambiental y reorientar el sistema productivo para conducirlo a un desarrollo sustentable y sostenible.

| DISTRITO | | | CAJAMARCA | MAGDALENA | CHETILLA | |
|--|--------------------------------|------------------------------------|--|-----------|----------|------|
| SUB SISTEMA NATURAL (SSN) | HIDROGRÁFICO | Disponibilidad y calidad hídrica | 0.93 | 0.91 | 0.99 | |
| | | Demanda hídrica para diversos usos | 0.97 | 0.89 | 0.95 | |
| | | Áreas de regulación Hídrica | 0.82 | 0.90 | 0.95 | |
| | ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL | Áreas de aptitud forestal | 0.73 | 0.85 | 0.87 | |
| | | | Áreas de importancia eco sistémica | 0.9 | 0.95 | 0.87 |
| | | | Conectividad ecológica | 0.73 | 95 | 0.7 |
| | | | Áreas de patrimonio ecológico y paisajístico | 0.93 | 0.87 | 0.75 |
| | | | Áreas reservadas para servicios públicos | 0.77 | 0.65 | 0.53 |

| | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------|------|------|
| | | Áreas de riesgo y de amenaza altas | 0.55 | 0.78 | 0.6 |
| | | Áreas para la producción sostenible | 0.84 | 0.84 | 0.54 |
| SUB SISTEMA ESTRUCTURANTE | MOVILIDAD | Infraestructura vial | 0.86 | 0.7 | 0.94 |
| | | Transporte | 0.82 | 0.8 | 0.85 |
| CONSTRUIDO (SSEC) | ESPACIO PÚBLICO | Espacio Público Natural | 0.67 | 0.78 | 0.43 |
| | | Espacio Público Construido | 0.95 | 0.78 | 0.6 |
| | EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS | Equipamientos Sociales | 0.94 | 0.74 | 0.82 |
| | | Equipamientos Comunitarios | 0.77 | 0.64 | 0.84 |
| | | Equipamientos Infraestructura | 0.91 | 0.85 | 0.78 |
| | | Equipamientos Institucionales | 0.83 | 0.9 | 0.9 |

| | | | | |
|---|---|-------------------------|------|------|
| SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS | Acueducto (Sistemas, cobertura) y tomas de agua | 0.97 | 0.64 | 0.96 |
| | Alcantarillado-Pozos séptico otros | 0.3 | 0.5 | 0.96 |
| | Aseo o manejo de residuos sólidos | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| | Energía | 0.95 | 0.92 | 0.97 |
| | Gas y otras fuentes de energía | 0.7 | 0.8 | 0.84 |
| | Telecomunicaciones | 0.97 | 0.98 | 0.97 |
| | PATRIMONIO INMUEBLE | Patrimonio Arqueológico | 0.9 | 0.7 |
| Espacio Público construido de Valor Patrimonial | | 0.84 | 0.75 | 0.5 |
| | Sectores de Valor Patrimonial | 0.7 | 0.6 | 0.8 |

| | | | | | |
|--|--------------------------------|--|------|------|------|
| | | Edificaciones de Valor Patrimonial | 0.58 | 0.4 | 0.64 |
| | ESTRUCTURADO o ESPACIO PRIVADO | Estructura Predial (Unidad agrícola familiar) | 0.63 | 0.8 | 0.9 |
| | | Dinámica Inmobiliaria | 0.67 | 0.65 | 0.5 |
| | | Centros Poblados | 0.52 | 0.74 | 0.8 |
| | | Asentamientos Precarios | 0.47 | 0.84 | 0.8 |
| | | Asentamientos Localización en Riesgo | 0.58 | 0.7 | 0.8 |
| | VIVIENDA Y ÁREAS RESIDENCIALES | Vivienda campestre, 2ª vivienda / Recreo | 0.42 | 0.8 | 0.94 |
| | | Vivienda Campesina | 0.6 | 0.78 | 0.8 |
| | | Vivienda Suburbana no asociada a sistemas productivos. | 0.42 | 0.84 | 0.84 |
| | | Vivienda Urbana | 0.96 | 0.74 | 0.8 |

| | | | | | |
|--------------------|------------------------|--|------|------|------|
| | OTROS USOS DEL SUELO Y | Uso Mixto Urbano - Rural | 0.65 | 0.8 | 0.94 |
| | | Forestal protector | 0.77 | 0.84 | 0.85 |
| | | Forestal productor | 0.65 | 0.8 | 0.82 |
| | | Agropecuario | 0.92 | 0.94 | 0.94 |
| | | Agroforestal | 0.78 | 0.84 | 0.78 |
| | | Explotación de materiales de Construcción | 0.85 | 0.8 | 0.74 |
| | | Comerciales y de Servicios | 0.8 | 0.7 | 0.8 |
| | | Industriales - Agroindustriales | 0.78 | 0.4 | 0.36 |
| SUB SISTEMA | DINÁMICA POBLACIONAL | Crecimiento poblacional (urbano y rural) | 0.94 | 0.8 | 0.64 |
| TERRITORIAL | | Movilidad poblacional | 0.65 | 0.74 | 0.64 |
| DINÁMICO | | Población en vulnerabilidad socioeconómica | 0.74 | 0.74 | 0.97 |

| | | | | | |
|---|----------------------|---|------|------|------|
| | | | | | |
| (SSTD) | TENENCIA | Titularidad | 0.65 | 0.45 | 64 |
| | SISTEMAS PRODUCTIVOS | Sistemas productivos sostenibles | 0.84 | 0.8 | 0.46 |
| | | Sistemas que requieren reconversión tecnológica | 0.98 | 80 | 0.8 |
| | | Minería | 0.78 | 0.7 | 0.64 |
| | | Turismo | 0.94 | 80 | 0.84 |
| | | | | | |
| SUB SISTEMAS COMPLEMENTARIOS | MODELO DE OCUPACIÓN | Funciones y formas de ocupación territorial | 0.7 | 0.86 | 0.74 |
| | | Clasificación del suelo | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| (SSC) | MODELO DE GESTIÓN | Planificación y regulación local | 0.97 | 0.94 | 0.98 |
| | | Planificación y regulación regional | 0.97 | 0.84 | 0.98 |

Figura 55: Resultados de grados de pertenencia de los factores de cambio para los distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla

Nota: Fuente: Adaptación de Carlos Eduardo Garcia López (2003) y Lucio Mauricio Henao Vélez, Ordenamiento Territorial, <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/prospectiva-territorial> (2012).

Los factores de cambio sugieren la priorización de los proyectos de intervención los mismos que se complementarían con estudios de factibilidad, viabilidad tecnológica y recursos disponibles llamados expedientes técnicos.

12. Definición de indicadores de control y aspectos normativos.

Conceptualmente en la dinámica de sistemas y la teoría de control, los elementos de medición y la retroalimentación conjuntamente con los términos de referencia determinan el cálculo y determinación de errores que con la finalidad de eliminarlos, activan los elementos de actuación y corrección, con la finalidad de mantener bajo control los sistemas, estos elementos de medición son los indicadores.

Considerando los factores de cambio establecidos, en concordancia con la fase prospectiva para la constitución de los planes de ordenamiento territorial, un avance de indicadores importantes frente a fenómenos naturales, son los propuestos por Carlos Eduardo García López, (2003): Como son de exposición, vulnerabilidad y fragilidad del territorio.

Para el presente estudio se han considerados conceptualmente los indicadores de vulnerabilidad previamente descritos en los antecedentes del presente trabajo (figura 56).

| INDICADORES |
|--|
| Exposición Subsistema Natural (ESN) |
| Fragilidad Subsistema Natural (FSN) |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Natural (CRSN) |
| Exposición Subsistema Estructurante Construido (ESEC) |
| Fragilidad Subsistema Estructurante Construido (FSEC) |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Estructurante Construido (CRSEC) |
| Exposición Subsistema Territorial Dinámico (ESTD) |
| Fragilidad Subsistema Territorial Dinámico (FSTD) |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Territorial Dinámico (CRSTD) |

Figura 56: Indicadores de vulnerabilidad

Nota: Fuente: Carlos Eduardo García López, Modelo Basado en Lógica Difusa para la Construcción de Indicadores de Vulnerabilidad Urbana frente a Fenómenos Naturales, Manizales (2003).

Desde el punto de vista normativo cada nivel de estudio, como componente del sistema requiere normas específicas, aspectos legales y normativos que difieren a nivel local, provincial, regional y nacional.

5.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados

En complemento al punto anterior en el que se presentaron los resultados de la aplicabilidad del Modelo propuesto para el Planeamiento para el Ordenamiento Territorial utilizando la Teoría de la Lógica Difusa para la provincia de Cajamarca, en base a la aplicabilidad del modelo a las unidades de análisis: Los distritos de Cajamarca, Magdalena y Chetilla, presentamos en esta unidad el análisis, interpretación y discusión de los resultados.

El modelo propuesto ha sido expuesto por fases, desde la determinación de los límites, para su trabajo como sistemas, hasta la identificación de los factores de cambio

que permita gestionar de mejor manera el uso del territorio mediante los proyectos de intervención.

En una contrastación de los resultados con los antecedentes del presente trabajo, podemos mencionar que este toma como punto de partida el trabajo de Carlos García (2003) la tesis “Modelo basado en lógica difusa para la construcción de indicadores de vulnerabilidad urbana frente a fenómenos naturales”, tomando en consideración la base del autor se complementa este con aspectos como el de planeamiento. En un proceso que la realidad social, la realidad física se matematiza utilizando la lógica difusa, transformadas en variables lingüísticas y que operan en un álgebra de predicados. Estos elementos de entrada son: : Exposición Subsistema Natural (ESN), Fragilidad Subsistema Natural (FSN), Capacidad de Respuesta, Exposición Subsistema Estructurante Construido (ESEC), Fragilidad Subsistema Estructurante Construido (FSEC), Capacidad de Respuesta Subsistema Estructurante Construido (CRSEC), Exposición Subsistema Territorial Dinámico (ESTD), Fragilidad Subsistema Territorial Dinámico (FSTD), Capacidad de Respuesta Subsistema Territorial Dinámico (CRSTD) (García C. E., 2003).

El trabajo de César Vergara y Horacio Gaviria (2009) la tesis “Aplicaciones de la Lógica Difusa en la Planificación de la Producción” demuestra la aplicabilidad de la Lógica Difusa en aspectos de Planeamiento de la Producción y manejar de una manera eficiente la incertidumbre asociada a la toma de decisiones y la estimación de valores y eventos ligado al futuro. En compatibilidad, los resultados del presente trabajo, procesan una gran variedad de conocimientos imprecisos e inciertos que por su naturaleza; nos conducen tomar decisiones en base a experiencias similares o datos históricos.

En correlación con el trabajo de Martin Gajate (2010) la tesis doctoral “Modelado y control neuroborroso de sistemas complejos. Aplicado a procesos de mecanizado de alto rendimiento”. Este trabajo presenta una metodología para el diseño y la implementación de un sistema de control inteligente y de un sistema de monitorización inteligente. Para ello, propone un procedimiento basado en el modelado neuroborroso. De igual manera el modelo propuesto para el planeamiento del ordenamiento territorial para la provincia de Cajamarca este se basa en modelizar y automatizar el razonamiento humano lo que con el manejo eficiente del conocimiento experto se brinda al modelo de características similares a un modelo inteligente.

En el presente trabajo de tesis se han presentado un conjunto de tablas y figuras que nos permiten sustentar la validez del Modelo para el Plan del Ordenamiento Territorial de la Provincia de Cajamarca. El modelo en todo su contexto se explica en la parte final correspondiente a La presentación fundamentación y explicación de la propuesta, en esta parte se analizan, interpretan, discuten y justifican los resultados presentados en el punto anterior dentro del contexto paradigmático y teórico expuesto en el presente trabajo.

La parte fundamental y central del modelo es el módulo Fuzzy, el mismo que está compuesto por el módulo de fuzificación, motor de inferencia y módulo de defuzificación. El módulo de fuzificación define las variables de entrada del modelo (figura 9), Indicadores de vulnerabilidad, estas variables son presentadas con sus respectivas dominios: BAJO [0 - 30], MEDIO [31 - 65] Y ALTO [66 - 100], de tal manera que sea posible la construcción del motor de inferencia y su operacionalización en el álgebra de predicados.

Ejemplo de proposición lingüística:

Si la fragilidad del subsistema natural es alta y la exposición del subsistema natural es alta, la Capacidad de Respuesta del Subsistema Estructurante Construido es bajo **y** la disponibilidad hídrica es baja **entonces** tendremos la consecuencia son C11, C12...C1n.

La capacidad de razonamiento aproximado (inteligencia) que obtenga el sistema está en concordancia con la cantidad de proposiciones lingüísticas (conocimiento explícito) que se hayan establecido en el modelo. Como lo definen el fundamento teórico de la lógica difusa el conjunto de proposiciones difusas conforman el motor de inferencia. Estas fases del desarrollo e implementación del módulo difuso están expuestas de una manera gráfica en las figuras 25, 37, 38, 39, 40, 47 y 48, previamente explicados, ejemplo que permite visualizar el procesamiento de sus variables de forma tridimensional.

La última fase del módulo difuso implica obtener la salida única como respuesta a la situación problemática planteada, esta salida tiene las características de una respuesta razonada en base al conocimiento establecido en el motor de inferencia y su acción complementaria con la base de datos y conocimiento abstraído por el modelo.

Para la explicación de esta parte llamada defuzificación, lo realizamos mediante el mismo ejemplo, de tal manera que es posible su exposición gráfica en tres dimensiones. En base a la comprensión su dinámica en estudio, estos son validados en los diagramas de Forrester (figuras 36, 49, 50, 51, 52 y 53).

Con la selección de los indicadores, factores intervinientes y validado por el trabajo multidisciplinario y experto, se establece una de las proposiciones difusas, que conforman el motor de inferencia:

Si la fragilidad del subsistema natural es alta y la exposición del subsistema natural es alta, la Capacidad de Respuesta del Subsistema Estructurante Construido es bajo y la disponibilidad hídrica es baja entonces poca disponibilidad hídrica.

La salida razonada y cuantificada del ejemplo se presenta en las figuras 47 y 48. Como parte final, vistos los grados de pertenecía presentados en la figura 54 y considerando las limitaciones establecidos en el presente trabajo en lo que respecta al análisis multidisciplinario y la utilización de datos por conveniencia para la validación del presente modelo, exponemos que: Tomando como ejemplo el valor de 0.93, para el factor de cambio: Disponibilidad y calidad hídrica para el distrito de Cajamarca, se observa que el valor está muy cerca a la unidad, lo que explica que su nivel de importancia es bastante alto, en base a la interpretación que el 0 (cero) significa nada importante y el 1 (uno) totalmente importante. En base a este análisis e interpretación, se le otorga su nivel de prioridad a todos los factores de cambio de la figura en mención.

Con el módulo difuso, que compone el modelo y es parte central de la gestión del conocimiento del proceso de planeamiento para el ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca propuesto, es posible mantener bajo control y/o revertir los efectos negativos que vienen afectando la manutención y conservación de los diferentes recursos naturales de la provincia de Cajamarca.

5.3 Contrastación de la hipótesis

En base al análisis de los resultados expuestos se concluye:

| | |
|---|---------------|
| Hipótesis General: “Es posible desarrollar un modelo de planeamiento dinámico del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca basado en la Teoría de la Lógica Difusa, que permita promover un desarrollo sostenido del sector productivo de la provincia de Cajamarca”. | ACEPTA |
|---|---------------|

Figura 57: Contrastación de hipótesis general.

Contrastación de Hipótesis específicas.

| | |
|--|---------------|
| Sub hipótesis 1 (H1): “Utilizando el fundamento teóricos de la lógica difusa es posible modelar la dinámica de un proceso como componente de un sistema”. | ACEPTA |
|--|---------------|

Figura 58: Contrastación de Sub hipótesis 1 (H1).

| | |
|---|---------------|
| Sub hipótesis 2 (H2): “Con la construcción de un motor de inferencia en un modelo de planeamiento es posible otorgar al sistema la capacidad de un razonamiento aproximado”. | ACEPTA |
|---|---------------|

Figura 59: Contrastación de Sub hipótesis 2 (H2).

| | |
|---|---------------|
| Sub hipótesis 3 (H3): “En base a indicadores de vulnerabilidad es posible priorizar las necesidades en un proceso de planeamiento del ordenamiento territorial”. | ACEPTA |
|---|---------------|

Figura 60: Contrastación de Sub hipótesis 3 (H3).

CAPITULO VI

PROPUESTA DEL MODELO DE PLANEAMIENTO DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA LA PROVINCIA DE CAJAMARCA UTILIZANDO LA TEORÍA DE LA LÓGICA DIFUSA

6.1 Modelo propuesto para el planeamiento del ordenamiento territorial para la provincia de Cajamarca usando la Teoría de la Lógica Difusa.

La propuesta del modelo de planeamiento del ordenamiento territorial para la Provincia de Cajamarca, necesariamente ha requerido de la revisión, integración y utilización de los fundamentos doctrinarios, definiciones y conceptos de: Los Sistemas Complejos, Teoría y Dinámica de Sistemas y la Lógica Difusa, expuestos en sus capítulos correspondientes, como son el marco epistemológico, doctrinal y conceptual de la presente investigación.

El modelo está comprendido por un conjunto de etapas, que se presenta esquemáticamente en la figura 61: Flujograma del modelo propuesto y que a continuación se detalla y explica.

Figura N° 61: Flujograma Modelo Propuesto

1) Establecimiento de los límites geográficos del plan de ordenamiento territorial.

Esta etapa implica identificar al sistema objeto de estudio con sus elementos, sus relaciones internas significativas y sus condiciones de contorno.

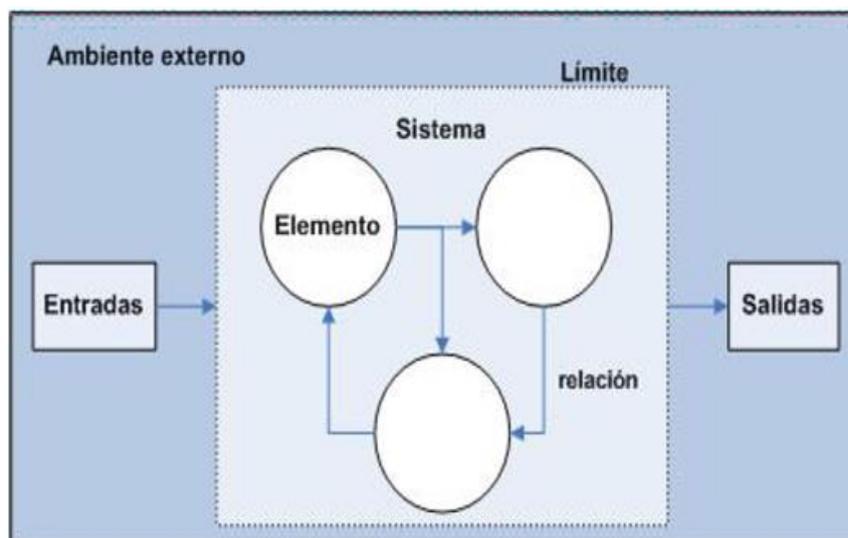


Figura 62: Representación genérica de un sistema

Fuente: Javier Aracil (1995).

2) Identificación de actores y del equipo interdisciplinario.

Para el planeamiento del ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca, constituye de especial interés e importancia la participación y trabajo de un equipo multi e interdisciplinario.

Para la identificación de los actores y constitución del equipo multidisciplinario se utiliza la matriz de estructuras complejas, que determina la relación y el grado de afinidad y responsabilidad entre los actores e involucrados

en la gestión del territorio, para este fin se utiliza la herramienta: Matriz de estructuras complejas (Anexo 6).

3) Internalización del marco doctrinal, teórico y conceptual.

El modelo propuesto de planeamiento del ordenamiento territorial para la Provincia de Cajamarca, tiene como marco doctrinal, conceptual y metodológico a los sistemas complejos, la dinámica de sistemas y la lógica difusa, siendo de relevante importancia la fase de socialización e internalización de estos conocimientos por parte de los actores, involucrados, técnicos y profesionales del equipo multi e interdisciplinario. El trabajo de análisis es sistémico y sistemático, que permita la integración, desestructuración y estructuración de los sistemas, subsistemas y procesos, identificación de problemas y propuestas de solución en base a la utilización de un conocimiento relacionado e interdisciplinario, orientando de esta manera la adecuada organización de la data, hasta la identificación y selección de los proyectos de intervención.

4) Estructuración del meta proceso sus elementos y relaciones.

En esta etapa se modela y estructura el meta proceso como una abstracción de la realidad, necesario para la elaboración del plan del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca, conceptualizado y estructurado como un sistema complejo en una totalidad, incluyendo sus subsistemas intervinientes, de tal manera que se puedan analizar y estudiar sus funciones y relaciones causales estructurales así como simularlos ante diferentes situaciones en base a los hechos observados con resultados validados y convincentes.

5) Definición de las bases de datos relacionales, difusos, de información y conocimiento.

Esta etapa constituye el componente ontológico del modelo, registra y gestiona la data, información y conocimiento del sistema.

Arquitectura del prototipo (Anexo 5).

El modulo difuso comprende:

El Subsistema de adquisición de conocimiento

- Motor de inferencia
- Repositorio de Base de Datos Relacional
- Repositorio de base de datos difusas
- Repositorio de Base de Conocimiento
- Módulo de defuzificación
- Subsistema de explicación
- Interfaz de usuario
- Aprendizaje.

El prototipo integra al módulo difuso, cuya presencia determina otorgarle al modelo las características de razonamiento aproximando.

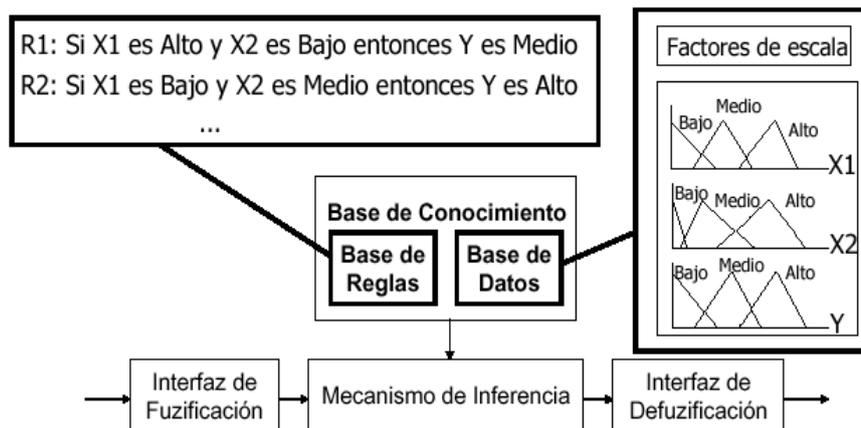


Figura 63: Módulo de Gestión Fuzzy

Nota: Fuente: adaptado de Academic Publishers. Fuzzy Set Theory and its Application, Herbert Zimmermann, (1996).

6) **Formulación sistémica de la problemática y diagnóstico integrado.**

En esta etapa se hace el reconocimiento general por parte de los actores, equipo de planificación e investigadores; de los problemas del objeto de estudio: El plan de ordenamiento territorial, realizando el análisis de las áreas problemáticas: medio físico; agro-productivo, socioeconómico, políticas pertinentes y otros de las unidades de análisis.

El objetivo es establecer la problemática de la formulación del plan del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca y establecer un diagnóstico integrado, identificando los procesos que permita posteriormente proponer acciones concretas y políticas para la solución de los problemas y el desarrollo positivo del sistema.

7) **Determinación del escenario objetivo.**

En esta etapa el modelo propone la necesidad de establecer el escenario objetivo del ordenamiento territorial, el mismo que debe ser establecido mediante un proceso prospectivo proceso que incluye el análisis y estudio de las alternativas de los escenarios posibles.

8) Identificación de perturbaciones.

En esta etapa el modelo propuesto para la formulación del plan del ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca requiere la identificación de las perturbaciones endógenas y exógenas intervinientes (desastres y riesgos) y que influyen y/o influirán en las relaciones de los elementos y comportamiento y de los sub sistemas en estudio.

9) Establecimiento de hipótesis.

En esta etapa se plantean las hipótesis de trabajo, las mismas que orientarán las fases de desarrollo del planeamiento del ordenamiento territorial permitirá anticiparse y conocer el comportamiento de los sistemas y subsistemas. Este proceso es de trabajo dinámico y retroalimentado, busca la actuación positiva de los estados del sistema y subsistemas, influyendo en su comportamiento de manera adecuada, como respuesta a la problemática identificada y analizada con un elevado nivel de especialización y profundidad por parte de los equipos multi e interdisciplinarios.

| HIPÓTESIS | | |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| ESTADO ESTACIONARIO | ESTADO DE DESESTRUCTURACIÓN | ESTADO DE REESTRUCTURACIÓN |

Figura 64: Propuesta sobre la composición de las hipótesis

Nota: Fuente: (García, Sistemas complejos, 2006).

10) Desestructuración del sistema en sub sistemas.

En esta etapa el modelo propuesto para la formulación del plan del ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca requiere de la desestructuración del sistema en sus subsistemas, es decir modelar los subsistemas específicos más importantes que la componen.

El control y actuación en los sub sistemas y procesos, determinan y definen sus comportamientos, de tal manera que los procesos establecidos por niveles determinan su relación, los del tercer nivel (nacional) provee una explicación de los procesos del segundo nivel (provincial); el análisis de este último provee una explicación de los procesos del primer nivel (distrital). Conjuntamente cada sub sistema estructura sus propias hipótesis.

11) Determinación de las alternativas de los proyectos de intervención.

La formulación del plan del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca, con su diagnóstico de la problemática debidamente establecida debe complementarse con una adecuada identificación y selección de los proyectos de intervención. Los proyectos de primer nivel, se constituyen como respuestas

a los análisis complejos, realizados en base a la situación real y sus tendencias en el nivel fenomenológico más inmediato. La diferencia entre los niveles de análisis es de relevancia importancia Los metaproseso determinados por los procesos de segundo y tercer nivel son regionales o nacionales con actores diferentes pero interrelacionados.

Los proyectos de intervención identificados deben ser complementados con un estudio de factibilidad que incluye la viabilidad tecnológica y evaluación de los recursos disponibles.

Los proyectos de intervención deben intentar detener donde sea posible, revertir las tendencias de deterioro del sistema socio-ambiental y reorientar el sistema productivo para conducirlo a un desarrollo sustentable.

| PROCESOS | PROYECTOS |
|--|------------------|
| PRIMER NIVEL | |
| (Distrito - Provincia) | |
| SEGUNDO NIVEL | |
| (Provincia - Region) | |
| TERCER NIVEL | |
| (Región – Nacional – Internacional) | |

Figura 65: Niveles de los Procesos y proyectos.

Note: Fuente: adaptado de (Garcia, 2006).

12) Reestructuración y retroalimentación del sistema.

En esta etapa el modelo propuesto para la formulación del plan del ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca se procede a la integración de los procesos y sub sistemas como resultados obtenidos en el nivel previo, redefiniendo el sistema para su evaluación. Por su propia dinámica este proceso ha sido retroalimentado y se debe repetir las veces como sea necesario hasta llegar al cumplimiento de los objetivos y contratación de las hipótesis planteadas.

13) Definición y cálculo de indicadores y medición.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en la fase de prospectiva y mantener bajo control las tendencias de las funciones intervinientes en los diferentes procesos, lograr la mejora continua y obtener los resultados esperados, el modelo del plan para el ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca, es necesario establecer un conjunto de indicadores, como elementos de control y medición, para la verificación del cumplimiento de las acciones de actuación en los procesos (proyectos) que dirijan y reorienten los subsistemas dentro de lo planeado, así como la detección de errores y activación de las acciones intervención de corrección. De tal manera que se cumpla con los aspectos de efectividad, eficiencia y adaptabilidad en cualquier momento del proceso del desarrollo real.

14) Acciones de control y correctivas.

Las actividades de control y monitoreo de los procesos, es parte esencial de la dinámica de sistemas, el análisis de la información generada por los elementos de medición o indicadores; activa las acciones de control y medicas

correctivas, en esta etapa se toma la decisión para actuar sobre el proceso, de manera activa o pasiva; la actuación de manera activa implica la corrección de errores que pueden poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos planteados en el proceso de planeamiento, con la finalidad de mantener los procesos bajo control. La actuación pasiva implica que el proceso está bajo control y no están en riesgo el cumplimiento de los objetivos.

15) Diseño y establecimiento de políticas.

En esta etapa el modelo propuesto para la formulación del plan del ordenamiento territorial de la Provincia de Cajamarca y que ha adoptado como política el desarrollo sostenible de los ecosistemas productivos, para el éxito en la consolidación y ejecución del plan, requiere de una legislación específica como requerimiento clave para su implementación.

16) Descripción del informe del plan de ordenamiento territorial.

En esta etapa se redacta el informe final del Plan de Ordenamiento Territorial, que incluye a lo expuesto. el conjunto de acciones político administrativas y de planificación concertada, incluyendo el conjunto de objetivos, políticas, metas, programas y normas, para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio que implica la utilización adecuada del suelo y que los municipios distritales de la Provincia de Cajamarca deberán adoptar conforme a los aspectos legales establecidos.

6.2 Beneficios que aporta la propuesta

El desarrollo del presente trabajo tiene inherente varios beneficios que fueron sustentados en la parte que corresponde a la justificación y que considera las personales, técnicas y científicas. Los beneficios se dan en los tres aspectos, resaltando los mayores beneficios en los aspectos técnicos y científicos, ya que la implementación del presente modelo para fines de planeamiento del ordenamiento territorial de la provincia de Cajamarca, permite aportar a las instituciones y organizaciones del estado de fundamentos técnicos y científicos que les permita cumplir con los objetivos de planeamiento, alineados a la ley de modernización del estado, vacío metodológico, técnico-científico que hasta la fecha aún existe.

De una manera puntual el beneficio más importante es: Establecer un modelo de planeamiento que permita el uso adecuado de sus recursos naturales, manejo correcto de los ecosistemas productivos, en un orden de gestión del medio ambiente y beneficios en logros de calidad de vida del ser humano,

Observamos que en el progreso y desarrollo de los pueblos y las naciones, se tiene una relación directa, con el desarrollo del conocimiento y su uso para la solución de sus problemas, siendo uno de los más importantes los aspectos de planeamiento del ordenamiento territorial, proceso esencial en la implementación del presente modelo propuesto, la generación de conocimiento explícito.

Los beneficios económicos y de orden social, en volumen, son una consecuencia lógica como resultados de la implementación del modelo de planeamiento del propuesto.

CONCLUSIONES

- 1.- El modelo de plan de ordenamiento territorial propuesto para la provincia de Cajamarca, basado en los fundamentos teóricos de los sistemas complejos y lógica difusa, es un modelo dinámico con características de razonabilidad aproximada, que en su implementación permitirá promover el desarrollo sostenible de sus ecosistemas. Mantiene un enfoque equilibrado de intervención, ligados a los factores de cambio, con la finalidad del ejercer un uso adecuado de su territorio en un marco de gestión ambiental y el aprovechamiento equilibrado de los recursos naturales.
- 2.- Se ha logrado modelar y simular particularidades de la dinámica de los sub sistemas componentes del territorio, permitiendo monitorear la evolución de los ecosistemas producto de una propuesta adecuada gestión de sus recursos.
- 3.- El reporte de los grados de pertenencia de los factores de cambio, como resultados (salidas) producto del cálculo proposicional, del modelo de planeamiento del ordenamiento territorial para la provincia de Cajamarca, para las unidades de análisis, distritos: Cajamarca, Magdalena y Chetilla, priorizan los proyectos, para su intervención,
4. En detalle los factores de cambio para las unidades de análisis: Cajamarca, Magdalena y Chetilla, se presentan en la figura 54, resaltando las prioridades en los sistemas hídricos y transporte, en todos sus niveles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Henao Vélez , L. M. (19 - 20 de 11 de 2012). *Ordenamiento Territorial*. Recuperado el 28 de 01 de 2017, de <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/prospectiva-territorial>
- Pons, J., Marín, N., Pons, O., Billiet, C., & De Tré, G. (2012). "A relational model for the possibilistic valid-time approach". *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 5(6), 1068-1088.
- Vidarte Chicchón , C., & Vilca Contreras, J. (2010). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL*. Lima.
- Alfonsi, A., & Perez, J. (2009). *Sistema de control en tiempo real para una Planta piloto compacta usando software libre*. Puerto Ordaz: ISSN.
- Al-Wedyan,, H., Demirli, K., & Bhat, R. (2001). A technique for fuzzy logic modeling of machining process. *in Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS*, (págs. 3021 - 3026). Vancouver.
- Angel Maya, A. (1996). *El Reto de la Vida. Ecosistema y Cultura*. (ECOFONDO, Ed.) Serie Construyendo el Futuro.
- Aracil, J., & Gordillo, F. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Alianza Editorial.
- Babuska, R. (1998). *Fuzzy Modeling for Control*. Kluwer Academic Publishers.
- Ballester Brage, L., & Colom Cañellas, A. J. (2006). Lógica difusa: una nueva epistemología para las Ciencias de la Educación. (U. i. Baleares, Ed.) *Revista de educación*(340), 995 - 1008.
- Baumgartner, F., & Jones, B. (2002). *Policy Dynamics*.
- Becattini, G. (2004). *Vicisitudes y potencialidades de un concepto: de distrito industrial*. Florencia: Università degli Studi.
- Bertalanffy. (1989). *Teoría General de Sistemas*. México: FCE .
- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de Sistemas*. México: FCE.
- Bikramjit, P., Pratihar, D., & Mondal, M. (2002). *Prediction of power requirement in turning using a GA-fuzzy approach* (Soft Comput Ind Recent Appl, ed.).
- Bohlin, T. (1994). *A Case-Study of Gray Box Identification* (in Automatica ed., Vol. 30).
- Bonissone, P., Khedkar, P., Chen, Y., & Goebel. (1999). *Hybrid soft computing systems: Industrial and commercial applications* (Vol. 87). (P. o. IEEE, Ed.)
- Bosc, P., Buckles, B., Petry, F., & Pivert, O. (1999). *Fuzzy databases*. Springer US.
- Bracho, J. (2001). La historia entre doctrina y teoría. A propósito de sus enseñanzas. *Revista de Teoría y Didáctica de las Ciencias Sociales*, 24.

- Caballero, ,, Alvarez, M., Abreu, J., & Caballero, E. (2008). "Methodology for classification of municipalities in the state of Hidalgo, Mexico.". En W. S. Society (Ed.), *In WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering*.
- Cáceres Angulo, L. E. (2007). *Ordenamiento Territorial del Sur y su Relación con la carretera interoceánica*. Arequipa: CID AQP.
- Cadenas Lucero, J. T. (2015). *Sistemas de Bases de Datos Difusas Sensibles al Contexto*. Tesis, Universidad de Granada, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Granada.
- Capra , F. (10 de 3 de 1996). *El punto crucial*. México: Pax. Obtenido de <http://www.ecoliteracy.org>
- Castells, M., & Borja, J. (1997). *Local y Global. La gestión de las ciudades en la era de la información*. Madrid: Santillana S.A. Taurus.
- Castillo Díaz, C. G. (2013). *Filosofía de la ciencia*. Cajamarca, Perú.
- Condominas, S. (1973). *Análisis de Economía - Sistemas Económicos y Políticas Económicas*. Obtenido de <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=condominas+sistema+economico&btnG=&lr=>
- Congreso, P. (25 de julio de 2002). LEY N° 27795 - LEY DE DEMARCACIÓN Y ORGANIZACIÓN TERRITORIAL. Lima, Perú: Congreso de la República.
- Correa, J. (2004). *Aproximaciones Metodológicas Para la Toma de Decisiones, Apoyadas en Modelos Difusos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Correa, M., Bielza, C., Ramirez, M., & Alique, J. (2008). "A Bayesian network model for surface roughness prediction in the machining process," *International Journal of Systems Science* (Vol. 39). Recuperado el 30 de setiembre de 2016
- Cuencas, ETC Andes, & COSUDE. (s.f.). *Plan de Ordenamiento Territorial (POT). BioAndes*, 12.
- Cuervo, L. M. (1996). *Ciudad y Complejidad: La magnitud del reto*.
- Delgado, M. (1997). *La ciudad no es lo urbano. Hacia una antropología de lo inestable; en sobre Hábitat y Cultura*. Medellín: Universidad Nacional de Medellín.
- Diccionario especializado, G. (5 de Mayo de 2018). *Definiciones*. Obtenido de Definiciones: <https://definicion.de/abiotico/>
- Easton, D. (1982). *Enfoques sobre Teoría Política*. New Jersey.
- Easton, D. (1990). *The Anlysis of Political Structuration*. USA.
- Ejecutivo, P. (Diciembre de 2012). *POLÍTICA NACIONAL DE MODERNIZACIÓN DE LA GESTIÓN PÚBLICA AL 2021*. Lima, Perú: Elñ Peruano.

- Flood, R., & Jackson, M. (2000). *Creative Problem Solving*. England.
- Forrester, J. (1971). *El comportamiento Contraintuitivo de los Sistemas Sociales*. (T. R. MIT, Ed.)
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Oregon.
- Fortune, J., & Peters, G. (2005). *Information Systems: Achieving Success by Avoiding Failure*. Chichester, England.
- Foss, B., & Johansen, T. (1993). On local and fuzzy modelling. *in 3rd Int. Conference on Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems*, (págs. 80 - 87). Houston, Texas.
- Frank, P. (1990). "Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy. A survey and some new results," *Automatica*, (Vol. 26).
- G., J. P. (2006). *BASES DEL CONCEPTO DE INVESTIGACION APLICADA*. CARACAS.
- Gajate Martín, A. (2010). *Modelado y control neuroborroso de sistemas complejos. Aplicación a procesos de mecanizado de alto rendimiento*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Galindo, J. (2008). *Handbook of research on fuzzy information processing Handbook of research on fuzzy information processing*. IGI Global.
- García López, C. (2003). *MODELO BASADO EN LÓGICA DIFUSA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES DE VULNERABILIDAD URBANA FRENTE A FENÓMENOS NATURALES*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad e Ingeniería y Arquitectura, Manizales.
- García, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Garrido, C., Marín, N., & Olga, P. (2009). "Fuzzy intervals to represent fuzzy valid time in a temporal relational database." *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 17(1), 173-192.
- Gil-García, J. (2008). *Pensamiento sistémico y dinámica de sistemas para el análisis de políticas públicas : Fundamentos y recomendaciones*. (C. d. económicas, Ed.) Toluca, México: CIDE.
- Glave, T. M. (2009). *Ordenamiento Territorial y Desarrollo en el Perú: Notas conceptuales y balance de logros y limitaciones*. Perú: Seminario de Recursos Naturales y Desarrollo Rural en el Perú (1980 - 2010).

- Glick, C. R. (1992). *Desarrollo Urbano*. (E. S. Pública, Ed.) Santa Fé de Bogotá: Centro de Publicaciones.
- Gobierno Regional. (23 de 02 de 2017). *Ordenamiento Territorial*. Obtenido de Ordenamiento Territorial: <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/>
- Gómez Orea, D., & Gómez Villarino, A. (2013). *Ordenación Territorial*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Gonzales Casanova, P. (2004). *Las nuevas ciencias de las humanidades. De la academia a la política*. Barcelona: Editorial Anthropos.
- González, F. (1996). *Ambiente y Desarrollo. Reflexiones acerca de la relación entre los conceptos: ecosistema, cultura y desarrollo*. (F. Cultural, Ed.) IDEADE – PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- González, F. (1996). *Ambiente y Desarrollo. Reflexiones acerca de la relación entre los conceptos: ecosistema, cultura y desarrollo*. (I. –P. JAVERIANA., Ed.) Fundación Cultural Javeriana de Artes Gráficas.
- Gottschalk, P. (2006). *E-business Strategy, Sourcing and Governance*. Group Publishing.
- Gutierrez S. , J. L. (2000). Sociedad, Política, Cultura y Sistemas Complejos. (U. N. México, Ed.) *Revista Ciencias*(59), 9.
- Haber, R., Alique, A., Alique, J., Haber-Haber, R., & Ros, S. (2002). Current trends and future developments of new control systems based on fuzzy logic and their application to high speed machining. *Revista de Metalurgia*, 38, 124 - 133.
- Hayes-Roth, F. (1985). "Rule-based systems," *Communications of the ACM*, (Vol. 28).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Maptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Maptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hurtado, J. (1998). *Metodología de la Investigación Holística*. Fundación Cypal.
- INEI. (marzo de 2012). <http://proyectos.inei.gob.pe/>. Obtenido de <http://proyectos.inei.gob.pe/>: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib1020/Libro.pdf>
- INEI. (2015). *Compendio estadístico Cajamarca - 2015*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). *Compendio Estadístico Cajamarca 2015*.
- Jackson, M. (2000). *Systems Approaches to management*. New York: Plenum Publishers.

- Jafari, M., & Boucher, T. (1994). "A rule-based system for generating a ladder logic control program from a high-level systems model," *Journal of Intelligent Manufacturing*, (Vol. 5).
- Kamatala, M., Baumgartner, E., & Moon, K. (1996). Turned surface finish prediction based on fuzzy logic theory. *Proceedings of the 20th International Conference on Computer and Industrial Engineering*, 1, págs. 101 - 104.
- Kay, A. (2006). *The dynamics of public policy: theory and evidence*. cheltenham.
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets end Fuzzy Logic, Theory and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kramer, S. (2006). *Science and Technology Policy in the United States*. New Jersey .
- Lefebvre, H. (1981). *La production de l'espace* (2 ed.). Paris: edithionn Anthropos.
- Lieberman, H., & Selker, T. (2000). Out of context: Computer systems that adapt to, and learn from, context. *IBM Systems Journal*(3.4), 617-632.
- Ma, Z., & Yan, L. (2010). "A Literature Overview of Fuzzy Conceptual Data Modeling." *J. Inf. Sci. Eng.*, 2(26), 427-441.
- Magdalena, L., Verdegay, J., & Esteva, F. (2015). "Enric Trillas: A Passion for Fuzzy Sets. A Collection of Recent Works on Fuzzy Logic" (Vol. 322). (S. i. Computing., Ed.)
- Maldonado, C. E. (2009). La complejidad es un problema, no una cosmovisión. *UCM Revista de Investigación*, 13, 42 - 54.
- Mamdani, E. (1974). *Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant* (Vol. 121). (Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, Ed.)
- Marcuse, H. (1985). *El hombre Unidimensional* (1 ed.). Editorial Planeta Agostini.
- Massone , H., & Martínez , D. (2008). CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS ACERCA DEL PROCESO DE GESTIÓN DEL IMPACTO Y RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS. *Revista Ingenierías Univer sidad de Medellín*, 7(12), 13.
- Massone, H. (2003). *Geología y planificación territorial en la cuenca superior del Arroyo Grande, Provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctorado.
- MathWords. (2017). *Guía de usuario*. United States: The MathWorks, Inc.
- Maturana , & Varela. (1997). *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis de la organización de lo vivo*. Santiago de Chile: Ed. Universitaria.
- Medina, J., Pons, J., Barranco, C., & Pons, O. (2014). "A Fuzzy Temporal Object-Relational Database: Model and Implementation." *International Journal of Intelligent Systems*, 29(9), 836-863.

- Minsky, M. (1956). *Heuristic aspects of the artificial intelligence problem*. Massachusetts: Inst. of Tech. Lexington Lincoln Lab.
- Montoya, J. (1994). Ciudad y Escritura: Huella y Memoria; En Ciudad y Cultura. Memoria, Identidad y Comunicación. En F. d. Departamento de Antropología (Ed.), *VII Congreso de Antropología en Colombia*. Medellín.
- Moreno Armella, L. E. (2002). *La epistemología genética: una interpretación*. (M. d. Nacional, Ed.) Bogotá, Colombia.
- Moreno, B., & Ximénez, C. (1996). Evaluación de la calidad de vida. *Manual de evaluación en psicología clínica y de la salud*, 1048 - 1065.
- Moreno, J. (2002). *Manual de iniciación pedagógica al pensamiento complejo*. (C. p. ICFES/UNESCO, Ed.) Colombia.
- Moreno, J. C. (2002). *Fuentes, autores y corrientes que trabajan la complejidad*.
- Moreno-Velo, F., Baturone, I., Barrio, F., Sánchez-Solano, S., & Barriga, A. (Julio de 2003). A DESIGN METHODOLOGY FOR COMPLEX FUZZY SYSTEMS. (I. d.- C. Microelectrónica, Ed.) *European Symposium on Intelligent Technologies, Hybrid Systems and their implementation on Smart Adaptive Systems (EUNITE-2003)*, 330 - 335.
- Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. UNESCO.
- Morin, E. (2004). La epistemología de la complejidad. *Gazeta de Antropología*, 13. Obtenido de <http://digibug.ugr.es/handle/10481/7253>
- Munizaga, G. (2000). *Macroarquitectura. Tipologías y Estrategias de Desarrollo Urbano* (2 ed.). (Alfaomega, Ed.) México: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Negoita, C. V. (1978). On Fuzzy Systems.
- Neumann, J. V. (1968). *The General and Logical Theory of Automata*. Chicago: Aldine.
- Odum, E., & Sarmiento, F. (1998). *Ecología. El puente entre ciencia y sociedad*. (I. EDITORES., Ed.) México: MCGRAW – HILL.
- Patrick, B., Kraft, D., & Petry, F. (2005). "Fuzzy sets in database and information systems: Status and opportunities." *Fuzzy Sets and Systems*.
- Peña, G. (2004). *Modelamiento para sistemas socio economicos y naturales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Petry, F. (1997). *Fuzzy Databases: Principles and Applications*. Kluwer Academic Publishers.
- Petry, F. (2013). "Fuzzy Set Theory Utility for Database and Information Systems." Springer Berlin Heidelberg.
- Prigogine, I. (1998). *De los relojes a las nubes*.

- Quiroga, Á. (2003). *Introducción al análisis de datos reticulares. Prácticas con Ucinet6 y Net Draw1*. (D. d. Fabra, Ed.) Barcelona.
- Richardson, H. W. (1986). *Economía Regional y Urbana*. Madrid: Alianza Editorial S.A.
- Rivera Alfaro, R. G. (2014). *Desarrollo como sistema complejo*. Costa Rica: Repositorio Americano .
- Rose, J. (1978). *Current topics in cybernetics and systems*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Ruiz Limón,, R. (2006). *Historia y evolución del pensamiento científico*.
- Santana Jiménez, L. (2013). UNA APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA A LA EVALUACIÓN DEL BALANCE DE RIESGOS DE LA INFLACIÓN Y DEL CRECIMIENTO MACROECONÓMICO. (I. T. Domingo, Ed.) *Ciencia y Sociedad*, 38(3), 497-514.
- Sarria , A. (1992). *raco.cat*. Recuperado el 11 de diciembre de 1916, de [raco.cat](http://www.raco.cat/index.php/anuariopsicologia/article/viewFile/61171/88736): <http://www.raco.cat/index.php/anuariopsicologia/article/viewFile/61171/88736>
- Senge, P. (1998). *La quinta disciplina* (6 ed.). Mexico: Granica S:A.
- Serrano-Barquín, R., Cruz Jiménez, G., Arguello Zepeda, F., Osorio García, M., & Sánchez Barreto, R. F. (2012). LA COMPLEJIDAD, EXPRESIÓN DE NUESTRO TIEMPO: EL TURISMO DESDE LOS SISTEMAS COMPLEJOS. (L. C.-U.-V. Derivadas, Ed.) *Cultur*(1), 4. Obtenido de www.uesc.br/revistas/culturaeturismo
- Sherwood, D. (2002). *Seeing the Forest for the Trees: A manager's Guide to Aplying Systems Thinkings*. London.
- Sjoberg, J., Zhang, Q., Ljung, L., Benveniste, A., Delyon, B., Glorennec, P., . . . Juditsky, A. (1995). *Nonlinear black-box modeling in system identification: a unified overview* (in *Automatica*. ed., Vol. 31).
- Smolje, A. (2010). PLANEAMIENTO Y GESTIÓN EN CONTEXTOS DE INCERTIDUMBRE. En U. N. Plata (Ed.), *V Congreso de Costos del Mercosur*. Buenos Aires.
- Smyth, P., Heckerman, D., & Jordan, M. (1997). *Probabilistic independence networks for hidden Markov probability models - Neural Computation*, (Vol. 9). Recuperado el Setiembre de 2016
- Souto Iglesias, A. (25 de 2 de 2017). *Tutorial de Matlab*. Obtenido de http://canal.etsin.upm.es/web_cnum/main_matlab.pdf
- Sugeno, M., & Yasukawa,, T. (1993). *Fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems,.
- Systems, V. (25 de 02 de 2017). *VENSIM*. Obtenido de <http://vensim.com/vensim-software/>

- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). *Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control* (Vol. 15). IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,.
- Van , G. (2000). *System Desing Modeling and Metamodeling*. USA.
- Vargas, E. (2004). *Guía del pensamiento sistémico para la toma de decisiones*. Monterrey: ITESM.
- Vergara Rodríguez, C. J., & Gaviria Montoya, J. A. (2009). *APLICACIONES DE LA LÓGICA DIFUSA EN LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN*. Medellin: Universidad Nacinal de Colombia.
- Wielemaker, J. (2017). *SWI PROLOG - Reference Manual*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- Zadeh, L. (1965). *Fuzzy sets, Inform. and Control*.
- Zadeh, L. (1996). *Fuzzy logic = computing with words* (Vol. 4). (I. T. Systems, Ed.) .
- Zadeh, L. (1998). Soft computing, fuzzy logic and recognition technology. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems* , (págs. 1678 - 1679). Anchorage USA.
- Zimmermann, H. (1996). *Fuzzy Set Theory and its Application*,. Academic Publishers.

ANEXOS

Anexo 01: Indicadores sociales del departamento de Cajamarca

| INDICADORES SOCIALES | DESARROLLO SOCIAL | | EDUCACIÓN | | SALUD | | SERVICIOS BÁSICOS | | |
|----------------------|-------------------|--|--|--|--|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| | POBREZA | POBLACIÓN MAS DE DOS NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS (NBI) | CON RENDIMIENTO SUFICIENTE COMPRENSIÓN LECTURA (%) | EN DE RENDIMIENTO SUFICIENTE MATEMÁTICAS (%) | EN MORTALIDAD INFANTIL (POR MIL NACIDOS) | DESNUTRICIÓN CRÓNICA INFANTIL (%) | POBLACIÓN SIN ALUMBRADO ELÉCTRICO (%) | POBLACIÓN SIN AGUA (%) | POBLACIÓN SIN DESAGÜE |
| PERÚ | 34.80 | 7.70 | 28.70 | 13.80 | 25.00 | 28.50 | 23.90 | 42.70 | 49.40 |
| CAJAMARCA | 56.00 | 10.70 | - | - | 21.80 | 39.80 | 59.60 | 41.70 | 76.90 |
| CAJAMARCA | 44.50 | 12.30 | 32.60 | 17.20 | 22.60 | 34.30 | 35.50 | 20.70 | 57.90 |
| CAJABAMBA | 69.20 | 21.00 | 16.20 | 12.40 | 16.90 | 47.70 | 64.40 | 28.00 | 83.90 |
| CELENDÍN | 66.30 | 25.00 | 15.40 | 14.80 | 31.30 | 47.30 | 64.60 | 39.80 | 82.10 |
| CHOTA | 61.70 | 27.80 | - | - | 19.60 | 43.40 | 60.40 | 53.00 | 84.90 |
| CONTUMAZÁ | 61.80 | 15.50 | 24.90 | 20.70 | 22.10 | 40.00 | 59.10 | 42.80 | 74.70 |
| CUTERVO | 60.40 | 32.60 | - | - | 18.50 | 46.30 | 79.40 | 57.20 | 86.50 |
| HUALGAYOC | 59.90 | 18.70 | - | - | 18.60 | 45.60 | 76.60 | 46.20 | 87.20 |
| JAÉN | 48.10 | 19.60 | - | - | 20.50 | 42.30 | 49.10 | 51.60 | 65.50 |
| SAN IGNACIO | 54.70 | 27.40 | 18.00 | 15.60 | 21.50 | 46.50 | 71.30 | 39.70 | 89.40 |
| SAN MARCOS | 63.90 | 19.10 | - | - | 31.80 | 46.00 | 74.80 | 30.50 | 83.80 |
| SAN MIGUEL | 57.60 | 20.20 | - | - | 19.00 | 40.80 | 78.80 | 47.30 | 90.20 |
| SAN PABLO | 59.80 | 18.00 | 20.30 | 23.10 | 34.80 | 44.30 | 82.10 | 44.30 | 87.00 |
| SANTA CRUZ | 60.60 | 31.90 | - | - | 21.00 | 38.80 | 66.80 | 88.50 | 88.90 |

Nota. El porcentaje de pobreza en la provincia de Cajamarca es de 44.50%. Fuente: Adaptado de Instituto Nacional de Estadística e Informática (2012). Unidad de proyectos. <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib1020/Libro.pdf>.

Anexo 02: Mapas de América, sud América, Perú, Cajamarca e imágenes del distrito de Cajamarca.



Fuente: Ordenamiento Territorial, Lucio Mauricio Henao Vélez, <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/prospectiva-territorial> (2012).

Anexo 03: Mapa político del departamento de Cajamarca.

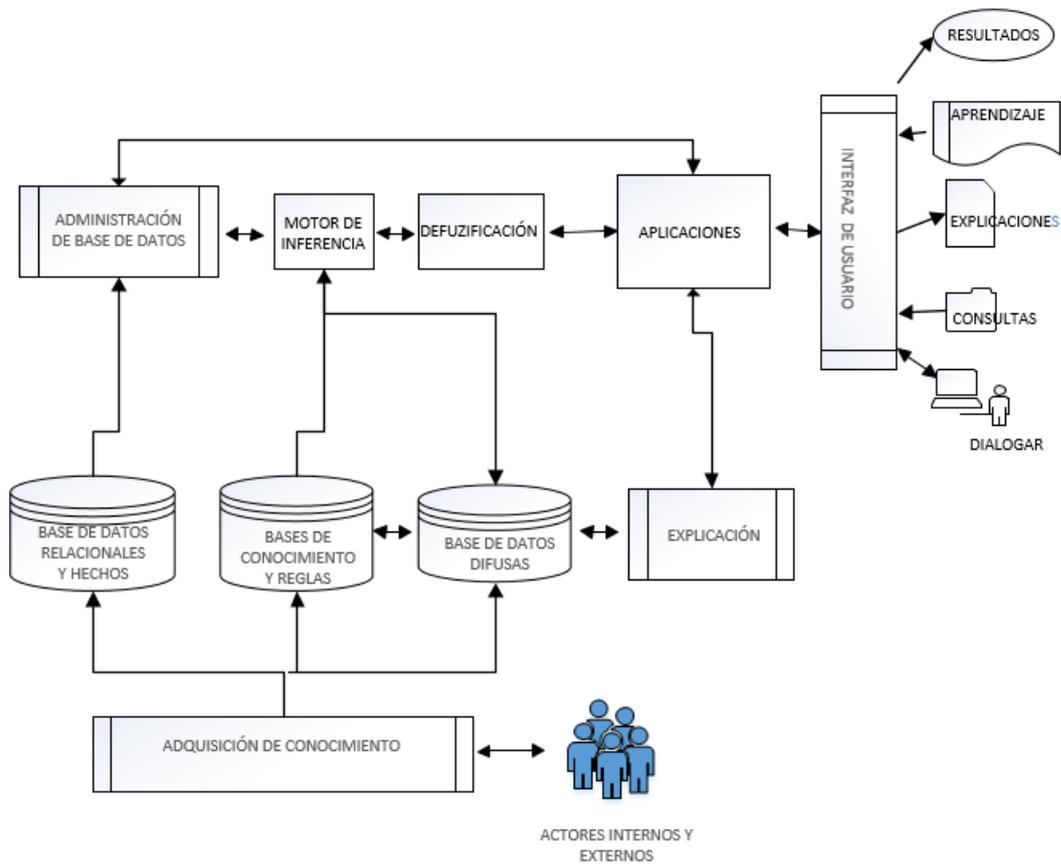


Fuente: Compendio Estadístico Cajamarca 2015, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2015).

Anexo 04: Mapa político de la provincia de Cajamarca

Fuente: Compendio Estadístico de Cajamarca – 2015. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2015.

Anexo 05: Arquitectura del sistema de datos y conocimiento.



Fuente: Adaptación de Lucero, José Tomás Cadenas, Universidad de Granada, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial (pág. 80).

Anexo 06: Matriz de estructuras complejas

Fuente: Adaptación (Henao Vélez , 2012) y otros.

Anexo 07: Base legal.

Marco legal en el cual se sustenta la formulación de Zonificación Ecológica y Económica.

| NORMATIVA | DESCRIPCIÓN |
|--|--|
| Ley de bases de la Descentralización, ley N° 27783, Art. 8° | Señala que la autonomía es el derecho y la capacidad efectiva del gobierno en sus tres niveles de normar, regular y administrar los asuntos públicos de su competencia; Art. 35°, señala como competencia exclusiva de los gobiernos regionales la promoción del uso sostenible de los recursos forestales y de biodiversidad. |
| Ley orgánica de los Gobiernos Regionales N° 27867 – Art. 53° | Establece la competencia de “formular, aprobar, ejecutar, evaluar, dirigir, controlar y administrar los planes y políticas en materia ambiental y de ordenamiento territorial, en concordancia con los planes de los Gobiernos Locales”. |
| Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 – Art. 20° | Establece que la planificación y el ordenamiento territorial tienen por finalidad complementar la planificación económica, social y ambiental con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su conservación y aprovechamiento sostenible. |
| Ordenanza N° 012-2005-GRCAJ-CR | Modificada por Ordenanza Regional N° 012-2010-GRCAJ-CR, declara de prioridad regional el proceso de Ordenamiento Territorial Regional, tomando como instrumento base la Zonificación Ecológica y Económica de la Región Cajamarca. |
| Decreto supremo N° 087-2004-PCM-Art. 1 | Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica, ZEE, una vez aprobada la ZEE se convierte en un instrumento técnico y orientador de uso sostenible de un territorio y de sus recursos naturales. |

| | |
|--|--|
| Decreto supremo N° 008-2005-PCM | Reglamento de la ley N° 28245, Ley Marco de Sistema Nacional de Gestión ambiental – Art. 53°, el Ordenamiento Territorial, debe basarse en la evaluación de las potencialidades y limitaciones del territorio, mediante los procesos de ZEE. |
| Decreto del consejo directivo N° 010-2006 – CONAM/CD | Directiva Metodología para la Zonificación Ecológica y Económica |
| Resolución Ministerial N° 026 – 2010-MINAM | Aprueba los Lineamientos de Política para el Ordenamiento Territorial. Lineamiento 1.2 establece “Orientar la ocupación y uso racional del territorio, mediante la formulación e implementación de los planes de Ordenamiento Territorial sobre la base de la Zonificación Ecológica y Económica- ZEE, y de otros instrumentos de Ordenamiento Territorial vigentes, con aplicación efectiva de las competencias y funciones, económicas, políticas y sociales”. |

APÉNDICES

Apéndice 01: Motor de inferencia

| FACTORES DE CAMBIO | | SUB SISTEMA NATURAL (| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|----------------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | ESTRUCTURA ECOLÓGIC | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ACTORES | | | | | | | | | DESCRPTORES | | | | | | | | | |
| ACTORES | | HIDROGRÁFICO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Disponibilidad y calidad hídrica | | | Demanda hídrica para diversos usos | | | Áreas de regulación hídrica | | | Áreas de aptitud forestal | | | Áreas de importancia eco sistémica | | | Cone | | | |
| ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO |
| R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 | R11 | R12 | R13 | R14 | R15 | R16 | R17 | R18 | R19 | R20 | R21 |
| Exposición Subsistema Natural (ESN) | R169 | R170 | R171 | R172 | R173 | R174 | R175 | R176 | R177 | R178 | R179 | R180 | R181 | R182 | R183 | R184 | R185 | R186 | R187 | R188 |
| Fragilidad Subsistema Natural (FSN) | R305 | R506 | R507 | R508 | R509 | R510 | R511 | R512 | R513 | R514 | R515 | R516 | R517 | R518 | R519 | R520 | R521 | R522 | R523 | R524 |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Natural (CRSN) | R1089 | R1090 | R1091 | R1092 | R1093 | R1094 | R1095 | R1096 | R1097 | R1098 | R1099 | R1100 | R1101 | R1102 | R1103 | R1104 | R1105 | R1106 | R1107 | R1108 |
| Exposición Subsistema Estructurante Construido(ESEC) | R1244 | R1245 | R1246 | R1247 | R1248 | R1249 | R1250 | R1251 | R1252 | R1253 | R1254 | R1255 | R1256 | R1257 | R1258 | R1259 | R1260 | R1261 | R1262 | R1263 |
| Fragilidad Subsistema Estructurante Construido (FSEC) | R1580 | R1581 | R1582 | R1583 | R1584 | R1585 | R1586 | R1587 | R1588 | R1589 | R1590 | R1591 | R1592 | R1593 | R1594 | R1595 | R1596 | R1597 | R1598 | R1599 |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Estructurante Construido (CRSECC) | R2756 | R2757 | R2758 | R2759 | R2760 | R2761 | R2762 | R2763 | R2764 | R2765 | R2766 | R2767 | R2768 | R2769 | R2770 | R2771 | R2772 | R2773 | R2774 | R2775 |
| Exposición Subsistema Territorial Dinámico(ESTD) | R3092 | R3093 | R3094 | R3095 | R3096 | R3097 | R3098 | R3099 | R3100 | R3101 | R3102 | R3103 | R3104 | R3105 | R3106 | R3107 | R3108 | R3109 | R3110 | R3111 |
| Fragilidad Subsistema Territorial Dinámico (FSTD) | R3764 | R3765 | R3766 | R3767 | R3768 | R3769 | R3770 | R3771 | R3772 | R3773 | R3774 | R3775 | R3776 | R3777 | R3778 | R3779 | R3780 | R3781 | R3782 | R3783 |
| Capacidad de Respuesta Subsistema Territorial Dinámico(CRSTD) | R4268 | R4269 | R4270 | R4271 | R4272 | R4273 | R4274 | R4275 | R4276 | R4277 | R4278 | R4279 | R4280 | R4281 | R4282 | R4283 | R4284 | R4285 | R4286 | R4287 |

| ESTRUCTURADO o ESP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------------------|------|------|
| PATRIMONIO INMUEBLE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ras fuentes de energía | | | Telecomunicaciones | | | Patrimonio Arqueológico | | | Espacio Público construido de Valor Patrimonial | | | Sectores de Valor Patrimonial | | | Edificaciones de Valor Patrimonial | | | Estructura Prefital | | | Dinámica Inmobiliaria | | | Centros Poblados | | |
| MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO |
| R68 | R69 | R70 | R71 | R72 | R73 | R74 | R75 | R76 | R77 | R78 | R79 | R80 | R81 | R82 | R83 | R84 | R85 | R86 | R87 | R88 | R89 | R90 | R91 | R92 | | |
| R236 | R237 | R238 | R239 | R240 | R241 | R242 | R243 | R244 | R245 | R246 | R247 | R248 | R249 | R250 | R251 | R252 | R253 | R254 | R255 | R256 | R257 | R258 | R259 | R260 | | |
| R404 | R405 | R406 | R407 | R408 | R409 | R410 | R411 | R412 | R413 | R414 | R415 | R416 | R417 | R418 | R419 | R420 | R421 | R422 | R423 | R424 | R425 | R426 | R427 | R428 | | |
| R572 | R573 | R574 | R575 | R576 | R577 | R578 | R579 | R580 | R581 | R582 | R583 | R584 | R585 | R586 | R587 | R588 | R589 | R590 | R591 | R592 | R593 | R594 | R595 | R596 | | |
| R740 | R741 | R742 | R743 | R744 | R745 | R746 | R747 | R748 | R749 | R750 | R751 | R752 | R753 | R754 | R755 | R756 | R757 | R758 | R759 | R760 | R761 | R762 | R763 | R764 | | |
| R908 | R909 | R910 | R911 | R912 | R913 | R914 | R915 | R916 | R917 | R918 | R919 | R920 | R921 | R922 | R923 | R924 | R925 | R926 | R927 | R928 | R929 | R930 | R931 | R932 | | |
| R1076 | R1077 | R1078 | R1079 | R1080 | R1081 | R1082 | R1083 | R1084 | R1085 | R1086 | R1087 | R1088 | R1089 | R1090 | R1091 | R1092 | R1093 | R1094 | R1095 | R1096 | R1097 | R1098 | R1099 | R1100 | | |
| R1144 | R1145 | R1146 | R1147 | R1148 | R1149 | R1150 | R1151 | R1152 | R1153 | R1154 | R1155 | R1156 | R1157 | R1158 | R1159 | R1160 | R1161 | R1162 | R1163 | R1164 | R1165 | R1166 | R1167 | R1168 | | |
| R1311 | R1312 | R1313 | R1314 | R1315 | R1316 | R1317 | R1318 | R1319 | R1320 | R1321 | R1322 | R1323 | R1324 | R1325 | R1326 | R1327 | R1328 | R1329 | R1330 | R1331 | R1332 | R1333 | R1334 | R1335 | | |
| R1479 | R1480 | R1481 | R1482 | R1483 | R1484 | R1485 | R1486 | R1487 | R1488 | R1489 | R1490 | R1491 | R1492 | R1493 | R1494 | R1495 | R1496 | R1497 | R1498 | R1499 | R1500 | R1501 | R1502 | R1503 | | |
| R1647 | R1648 | R1649 | R1650 | R1651 | R1652 | R1653 | R1654 | R1655 | R1656 | R1657 | R1658 | R1659 | R1660 | R1661 | R1662 | R1663 | R1664 | R1665 | R1666 | R1667 | R1668 | R1669 | R1670 | R1671 | | |
| R1815 | R1816 | R1817 | R1818 | R1819 | R1820 | R1821 | R1822 | R1823 | R1824 | R1825 | R1826 | R1827 | R1828 | R1829 | R1830 | R1831 | R1832 | R1833 | R1834 | R1835 | R1836 | R1837 | R1838 | R1839 | | |
| R1983 | R1984 | R1985 | R1986 | R1987 | R1988 | R1989 | R1990 | R1991 | R1992 | R1993 | R1994 | R1995 | R1996 | R1997 | R1998 | R1999 | R2000 | R2001 | R2002 | R2003 | R2004 | R2005 | R2006 | R2007 | | |
| R2151 | R2152 | R2153 | R2154 | R2155 | R2156 | R2157 | R2158 | R2159 | R2160 | R2161 | R2162 | R2163 | R2164 | R2165 | R2166 | R2167 | R2168 | R2169 | R2170 | R2171 | R2172 | R2173 | R2174 | R2175 | | |
| R2319 | R2320 | R2321 | R2322 | R2323 | R2324 | R2325 | R2326 | R2327 | R2328 | R2329 | R2330 | R2331 | R2332 | R2333 | R2334 | R2335 | R2336 | R2337 | R2338 | R2339 | R2340 | R2341 | R2342 | R2343 | | |
| R2487 | R2488 | R2489 | R2490 | R2491 | R2492 | R2493 | R2494 | R2495 | R2496 | R2497 | R2498 | R2499 | R2500 | R2501 | R2502 | R2503 | R2504 | R2505 | R2506 | R2507 | R2508 | R2509 | R2510 | R2511 | | |
| R2655 | R2656 | R2657 | R2658 | R2659 | R2660 | R2661 | R2662 | R2663 | R2664 | R2665 | R2666 | R2667 | R2668 | R2669 | R2670 | R2671 | R2672 | R2673 | R2674 | R2675 | R2676 | R2677 | R2678 | R2679 | | |
| R2823 | R2824 | R2825 | R2826 | R2827 | R2828 | R2829 | R2830 | R2831 | R2832 | R2833 | R2834 | R2835 | R2836 | R2837 | R2838 | R2839 | R2840 | R2841 | R2842 | R2843 | R2844 | R2845 | R2846 | R2847 | | |
| R2991 | R2992 | R2993 | R2994 | R2995 | R2996 | R2997 | R2998 | R2999 | R3000 | R3001 | R3002 | R3003 | R3004 | R3005 | R3006 | R3007 | R3008 | R3009 | R3010 | R3011 | R3012 | R3013 | R3014 | R3015 | | |
| R3159 | R3160 | R3161 | R3162 | R3163 | R3164 | R3165 | R3166 | R3167 | R3168 | R3169 | R3170 | R3171 | R3172 | R3173 | R3174 | R3175 | R3176 | R3177 | R3178 | R3179 | R3180 | R3181 | R3182 | R3183 | | |
| R3327 | R3328 | R3329 | R3330 | R3331 | R3332 | R3333 | R3334 | R3335 | R3336 | R3337 | R3338 | R3339 | R3340 | R3341 | R3342 | R3343 | R3344 | R3345 | R3346 | R3347 | R3348 | R3349 | R3350 | R3351 | | |
| R3495 | R3496 | R3497 | R3498 | R3499 | R3500 | R3501 | R3502 | R3503 | R3504 | R3505 | R3506 | R3507 | R3508 | R3509 | R3510 | R3511 | R3512 | R3513 | R3514 | R3515 | R3516 | R3517 | R3518 | R3519 | | |
| R3663 | R3664 | R3665 | R3666 | R3667 | R3668 | R3669 | R3670 | R3671 | R3672 | R3673 | R3674 | R3675 | R3676 | R3677 | R3678 | R3679 | R3680 | R3681 | R3682 | R3683 | R3684 | R3685 | R3686 | R3687 | | |
| R3831 | R3832 | R3833 | R3834 | R3835 | R3836 | R3837 | R3838 | R3839 | R3840 | R3841 | R3842 | R3843 | R3844 | R3845 | R3846 | R3847 | R3848 | R3849 | R3850 | R3851 | R3852 | R3853 | R3854 | R3855 | | |
| R3999 | R4000 | R4001 | R4002 | R4003 | R4004 | R4005 | R4006 | R4007 | R4008 | R4009 | R4010 | R4011 | R4012 | R4013 | R4014 | R4015 | R4016 | R4017 | R4018 | R4019 | R4020 | R4021 | R4022 | R4023 | | |
| R4167 | R4168 | R4169 | R4170 | R4171 | R4172 | R4173 | R4174 | R4175 | R4176 | R4177 | R4178 | R4179 | R4180 | R4181 | R4182 | R4183 | R4184 | R4185 | R4186 | R4187 | R4188 | R4189 | R4190 | R4191 | | |
| R4335 | R4336 | R4337 | R4338 | R4339 | R4340 | R4341 | R4342 | R4343 | R4344 | R4345 | R4346 | R4347 | R4348 | R4349 | R4350 | R4351 | R4352 | R4353 | R4354 | R4355 | R4356 | R4357 | R4358 | R4359 | | |

| ACIO PRIVADO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--|--|--|--|--|
| los | Asentamientos Precarios | | | | | | Asentamientos Localización en Riesgo | | | | | | Vivienda campesina | | | | | | Vivienda Suburbana no asociada a sistemas productivos. | | | | | | Vivienda Urbana | | | | | | Uso Mixto Urbano - Rural | | | | | | Forestal protector | | | | | |
| | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | | | | | | |
| R93 | R94 | R95 | R96 | R97 | R98 | R99 | R100 | R101 | R102 | R103 | R104 | R105 | R106 | R107 | R108 | R109 | R110 | R111 | R112 | R113 | R114 | R115 | R116 | R117 | R118 | R119 | R120 | R121 | R122 | R123 | R124 | R125 | | | | | | | | | | |
| R281 | R282 | R283 | R284 | R285 | R286 | R287 | R288 | R289 | R290 | R291 | R292 | R293 | R294 | R295 | R296 | R297 | R298 | R299 | R300 | R301 | R302 | R303 | R304 | R305 | R306 | R307 | R308 | R309 | R310 | R311 | R312 | R313 | R314 | R315 | R316 | R317 | | | | | | |
| R429 | R430 | R431 | R432 | R433 | R434 | R435 | R436 | R437 | R438 | R439 | R440 | R441 | R442 | R443 | R444 | R445 | R446 | R447 | R448 | R449 | R450 | R451 | R452 | R453 | R454 | R455 | R456 | R457 | R458 | R459 | R460 | R461 | R462 | R463 | R464 | R465 | | | | | | |
| R597 | R598 | R599 | R600 | R601 | R602 | R603 | R604 | R605 | R606 | R607 | R608 | R609 | R610 | R611 | R612 | R613 | R614 | R615 | R616 | R617 | R618 | R619 | R620 | R621 | R622 | R623 | R624 | R625 | R626 | R627 | R628 | R629 | R630 | R631 | R632 | R633 | | | | | | |
| R765 | R766 | R767 | R768 | R769 | R770 | R771 | R772 | R773 | R774 | R775 | R776 | R777 | R778 | R779 | R780 | R781 | R782 | R783 | R784 | R785 | R786 | R787 | R788 | R789 | R790 | R791 | R792 | R793 | R794 | R795 | R796 | R797 | R798 | R799 | R800 | | | | | | | |
| R833 | R834 | R835 | R836 | R837 | R838 | R839 | R840 | R841 | R842 | R843 | R844 | R845 | R846 | R847 | R848 | R849 | R850 | R851 | R852 | R853 | R854 | R855 | R856 | R857 | R858 | R859 | R860 | R861 | R862 | R863 | R864 | R865 | R866 | R867 | R868 | R869 | | | | | | |
| R1101 | R1102 | R1103 | R1104 | R1105 | R1106 | R1107 | R1108 | R1109 | R1110 | R1111 | R1112 | R1113 | R1114 | R1115 | R1116 | R1117 | R1118 | R1119 | R1120 | R1121 | R1122 | R1123 | R1124 | R1125 | R1126 | R1127 | R1128 | R1129 | R1130 | R1131 | R1132 | R1133 | R1134 | R1135 | R1136 | R1137 | | | | | | |
| R1169 | R1170 | R1171 | R1172 | R1173 | R1174 | R1175 | R1176 | R1177 | R1178 | R1179 | R1180 | R1181 | R1182 | R1183 | R1184 | R1185 | R1186 | R1187 | R1188 | R1189 | R1190 | R1191 | R1192 | R1193 | R1194 | R1195 | R1196 | R1197 | R1198 | R1199 | R1200 | R1201 | R1202 | R1203 | R1204 | R1205 | | | | | | |
| R1336 | R1337 | R1338 | R1339 | R1340 | R1341 | R1342 | R1343 | R1344 | R1345 | R1346 | R1347 | R1348 | R1349 | R1350 | R1351 | R1352 | R1353 | R1354 | R1355 | R1356 | R1357 | R1358 | R1359 | R1360 | R1361 | R1362 | R1363 | R1364 | R1365 | R1366 | R1367 | R1368 | R1369 | R1370 | R1371 | R1372 | | | | | | |
| R1594 | R1595 | R1596 | R1597 | R1598 | R1599 | R1600 | R1601 | R1602 | R1603 | R1604 | R1605 | R1606 | R1607 | R1608 | R1609 | R1610 | R1611 | R1612 | R1613 | R1614 | R1615 | R1616 | R1617 | R1618 | R1619 | R1620 | R1621 | R1622 | R1623 | R1624 | R1625 | R1626 | R1627 | R1628 | R1629 | R1630 | | | | | | |
| R1672 | R1673 | R1674 | R1675 | R1676 | R1677 | R1678 | R1679 | R1680 | R1681 | R1682 | R1683 | R1684 | R1685 | R1686 | R1687 | R1688 | R1689 | R1690 | R1691 | R1692 | R1693 | R1694 | R1695 | R1696 | R1697 | R1698 | R1699 | R1700 | R1701 | R1702 | R1703 | R1704 | R1705 | R1706 | R1707 | R1708 | | | | | | |
| R1840 | R1841 | R1842 | R1843 | R1844 | R1845 | R1846 | R1847 | R1848 | R1849 | R1850 | R1851 | R1852 | R1853 | R1854 | R1855 | R1856 | R1857 | R1858 | R1859 | R1860 | R1861 | R1862 | R1863 | R1864 | R1865 | R1866 | R1867 | R1868 | R1869 | R1870 | R1871 | R1872 | R1873 | R1874 | R1875 | R1876 | | | | | | |
| R2008 | R2009 | R2010 | R2011 | R2012 | R2013 | R2014 | R2015 | R2016 | R2017 | R2018 | R2019 | R2020 | R2021 | R2022 | R2023 | R2024 | R2025 | R2026 | R2027 | R2028 | R2029 | R2030 | R2031 | R2032 | R2033 | R2034 | R2035 | R2036 | R2037 | R2038 | R2039 | R2040 | R2041 | R2042 | R2043 | R2044 | | | | | | |
| R2176 | R2177 | R2178 | R2179 | R2180 | R2181 | R2182 | R2183 | R2184 | R2185 | R2186 | R2187 | R2188 | R2189 | R2190 | R2191 | R2192 | R2193 | R2194 | R2195 | R2196 | R2197 | R2198 | R2199 | R2200 | R2201 | R2202 | R2203 | R2204 | R2205 | R2206 | R2207 | R2208 | R2209 | R2210 | R2211 | R2212 | | | | | | |
| R2344 | R2345 | R2346 | R2347 | R2348 | R2349 | R2350 | R2351 | R2352 | R2353 | R2354 | R2355 | R2356 | R2357 | R2358 | R2359 | R2360 | R2361 | R2362 | R2363 | R2364 | R2365 | R2366 | R2367 | R2368 | R2369 | R2370 | R2371 | R2372 | R2373 | R2374 | R2375 | R2376 | R2377 | R2378 | R2379 | R2380 | | | | | | |
| R2512 | R2513 | R2514 | R2515 | R2516 | R2517 | R2518 | R2519 | R2520 | R2521 | R2522 | R2523 | R2524 | R2525 | R2526 | R2527 | R2528 | R2529 | R2530 | R2531 | R2532 | R2533 | R2534 | R2535 | R2536 | R2537 | R2538 | R2539 | R2540 | R2541 | R2542 | R2543 | R2544 | R2545 | R2546 | R2547 | R2548 | | | | | | |
| R2848 | R2849 | R2850 | R2851 | R2852 | R2853 | R2854 | R2855 | R2856 | R2857 | R2858 | R2859 | R2860 | R2861 | R2862 | R2863 | R2864 | R2865 | R2866 | R2867 | R2868 | R2869 | R2870 | R2871 | R2872 | R2873 | R2874 | R2875 | R2876 | R2877 | R2878 | R2879 | R2880 | R2881 | R2882 | R2883 | R2884 | | | | | | |
| R3016 | R3017 | R3018 | R3019 | R3020 | R3021 | R3022 | R3023 | R3024 | R3025 | R3026 | R3027 | R3028 | R3029 | R3030 | R3031 | R3032 | R3033 | R3034 | R3035 | R3036 | R3037 | R3038 | R3039 | R3040 | R3041 | R3042 | R3043 | R3044 | R3045 | R3046 | R3047 | R3048 | R3049 | R3050 | R3051 | R3052 | | | | | | |
| R3164 | R3165 | R3166 | R3167 | R3168 | R3169 | R3170 | R3171 | R3172 | R3173 | R3174 | R3175 | R3176 | R3177 | R3178 | R3179 | R3180 | R3181 | R3182 | R3183 | R3184 | R3185 | R3186 | R3187 | R3188 | R3189 | R3190 | R3191 | R3192 | R3193 | R3194 | R3195 | R3196 | R3197 | R3198 | R3199 | R3200 | R3201 | | | | | |
| R3352 | R3353 | R3354 | R3355 | R3356 | R3357 | R3358 | R3359 | R3360 | R3361 | R3362 | R3363 | R3364 | R3365 | R3366 | R3367 | R3368 | R3369 | R3370 | R3371 | R3372 | R3373 | R3374 | R3375 | R3376 | R3377 | R3378 | R3379 | R3380 | R3381 | R3382 | R3383 | R3384 | R3385 | R3386 | R3387 | R3388 | | | | | | |
| R3520 | R3521 | R3522 | R3523 | R3524 | R3525 | R3526 | R3527 | R3528 | R3529 | R3530 | R3531 | R3532 | R3533 | R3534 | R3535 | R3536 | R3537 | R3538 | R3539 | R3540 | R3541 | R3542 | R3543 | R3544 | R3545 | R3546 | R3547 | R3548 | R3549 | R3550 | R3551 | R3552 | R3553 | R3554 | R3555 | R3556 | | | | | | |
| R3648 | R3649 | R3650 | R3651 | R3652 | R3653 | R3654 | R3655 | R3656 | R3657 | R3658 | R3659 | R3660 | R3661 | R3662 | R3663 | R3664 | R3665 | R3666 | R3667 | R3668 | R3669 | R3670 | R3671 | R3672 | R3673 | R3674 | R3675 | R3676 | R3677 | R3678 | R3679 | R3680 | R3681 | R3682 | R3683 | R3684 | | | | | | |
| R3856 | R3857 | R3858 | R3859 | R3860 | R3861 | R3862 | R3863 | R3864 | R3865 | R3866 | R3867 | R3868 | R3869 | R3870 | R3871 | R3872 | R3873 | R3874 | R3875 | R3876 | R3877 | R3878 | R3879 | R3880 | R3881 | R3882 | R3883 | R3884 | R3885 | R3886 | R3887 | R3888 | R3889 | R3890 | R3891 | R3892 | | | | | | |
| R4024 | R4025 | R4026 | R4027 | R4028 | R4029 | R4030 | R4031 | R4032 | R4033 | R4034 | R4035 | R4036 | R4037 | R4038 | R4039 | R4040 | R4041 | R4042 | R4043 | R4044 | R4045 | R4046 | R4047 | R4048 | R4049 | R4050 | R4051 | R4052 | R4053 | R4054 | R4055 | R4056 | R4057 | R4058 | R4059 | R4060 | | | | | | |
| R4192 | R4193 | R4194 | R4195 | R4196 | R4197 | R4198 | R4199 | R4200 | R4201 | R4202 | R4203 | R4204 | R4205 | R4206 | R4207 | R4208 | R4209 | R4210 | R4211 | R4212 | R4213 | R4214 | R4215 | R4216 | R4217 | R4218 | R4219 | R4220 | R4221 | R4222 | R4223 | R4224 | R4225 | R4226 | R4227 | R4228 | | | | | | |
| R4360 | R4361 | R4362 | R4363 | R4364 | R4365 | R4366 | R4367 | R4368 | R4369 | R4370 | R4371 | R4372 | R4373 | R4374 | R4375 | R4376 | R4377 | R4378 | R4379 | R4380 | R4381 | R4382 | R4383 | R4384 | R4385 | R4386 | R4387 | R4388 | R4389 | R4390 | R4391 | R4392 | R4393 | R4394 | R4395 | R4396 | | | | | | |

| OTROS USOS DEL SUELO Y | | | | | | | | | | | | | DINÁMICA POBLACIONAL | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--|-------|-------|----------------------------|-------|-------|---------------------------------|----------------------|-------|--|-------|-------|-----------------------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|------|
| Agropecuario | | | Agroforestal | | | Explotación de materiales de Construcción. | | | Comerciales y de Servicios | | | Industriales - Agroindustriales | | | Crecimiento poblacional (urbano y rural) | | | Movilidad poblacional | | | Población en vulnerabilidad socioeconómica | | | | | |
| ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO | ALTO | MEDIO | BAJO |
| R118 | R119 | R120 | R121 | R122 | R123 | R124 | R125 | R126 | R127 | R128 | R129 | R130 | R131 | R132 | R133 | R134 | R135 | R136 | R137 | R138 | R139 | R140 | R141 | R142 | | |
| R286 | R287 | R288 | R289 | R290 | R291 | R292 | R293 | R294 | R295 | R296 | R297 | R298 | R299 | R300 | R301 | R302 | R303 | R304 | R305 | R306 | R307 | R308 | R309 | R310 | | |
| R454 | R455 | R456 | R457 | R458 | R459 | R460 | R461 | R462 | R463 | R464 | R465 | R466 | R467 | R468 | R469 | R470 | R471 | R472 | R473 | R474 | R475 | R476 | R477 | R478 | | |
| R622 | R623 | R624 | R625 | R626 | R627 | R628 | R629 | R630 | R631 | R632 | R633 | R634 | R635 | R636 | R637 | R638 | R639 | R640 | R641 | R642 | R643 | R644 | R645 | R646 | | |
| R790 | R791 | R792 | R793 | R794 | R795 | R796 | R797 | R798 | R799 | R800 | R801 | R802 | R803 | R804 | R805 | R806 | R807 | R808 | R809 | R810 | R811 | R812 | R813 | R814 | | |
| R958 | R959 | R960 | R961 | R962 | R963 | R964 | R965 | R966 | R967 | R968 | R969 | R970 | R971 | R972 | R973 | R974 | R975 | R976 | R977 | R978 | R979 | R980 | R981 | R982 | | |
| R1126 | R1127 | R1128 | R1129 | R1130 | R1131 | R1132 | R1133 | R1134 | R1135 | R1136 | R1137 | R1138 | R1139 | R1140 | R1141 | R1142 | R1143 | R1144 | R1145 | R1146 | R1147 | R1148 | R1149 | R1150 | | |
| R1194 | R1195 | R1196 | R1197 | R1198 | R1199 | R1200 | R1201 | R1202 | R1203 | R1204 | R1205 | R1206 | R1207 | R1208 | R1209 | R1210 | R1211 | R1212 | R1213 | R1214 | R1215 | R1216 | R1217 | R1218 | | |
| R1381 | R1382 | R1383 | R1384 | R1385 | R1386 | R1387 | R1388 | R1389 | R1390 | R1391 | R1392 | R1393 | R1394 | R1395 | R1396 | R1397 | R1398 | R1399 | R1400 | R1401 | R1402 | R1403 | R1404 | R1405 | | |
| R1529 | R1530 | R1531 | R1532 | R1533 | R1534 | R1535 | R1536 | R1537 | R1538 | R1539 | R1540 | R1541 | R1542 | R1543 | R1544 | R1545 | R1546 | R1547 | R1548 | R1549 | R1550 | R1551 | R1552 | R1553 | | |
| R1687 | R1688 | R1689 | R1690 | R1701 | R1702 | R1703 | R1704 | R1705 | R1706 | R1707 | R1708 | R1709 | R1710 | R1711 | R1712 | R1713 | R1714 | R1715 | R1716 | R1717 | R1718 | R1719 | R1720 | R1721 | | |
| R1855 | R1856 | R1857 | R1858 | R1859 | R1870 | R1871 | R1872 | R1873 | R1874 | R1875 | R1876 | R1877 | R1878 | R1879 | R1880 | R1881 | R1882 | R1883 | R1884 | R1885 | R1886 | R1887 | R1888 | R1889 | | |
| R2033 | R2034 | R2035 | R2036 | R2037 | R2038 | R2039 | R2040 | R2041 | R2042 | R2043 | R2044 | R2045 | R2046 | R2047 | R2048 | R2049 | R2050 | R2051 | R2052 | R2053 | R2054 | R2055 | R2056 | R2057 | | |
| R2201 | R2202 | R2203 | R2204 | R2205 | R2206 | R2207 | R2208 | R2209 | R2210 | R2211 | R2212 | R2213 | R2214 | R2215 | R2216 | R2217 | R2218 | R2219 | R2220 | R2221 | R2222 | R2223 | R2224 | R2225 | | |
| R2369 | R2370 | R2371 | R2372 | R2373 | R2374 | R2375 | R2376 | R2377 | R2378 | R2379 | R2380 | R2381 | R2382 | R2383 | R2384 | R2385 | R2386 | R2387 | R2388 | R2389 | R2390 | R2391 | R2392 | R2393 | | |
| R2537 | R2538 | R2539 | R2540 | R2541 | R2542 | R2543 | R2544 | R2545 | R2546 | R2547 | R2548 | R2549 | R2550 | R2551 | R2552 | R2553 | R2554 | R2555 | R2556 | R2557 | R2558 | R2559 | R2560 | R2561 | | |
| R2705 | R2706 | R2707 | R2708 | R2709 | R2710 | R2711 | R2712 | R2713 | R2714 | R2715 | R2716 | R2717 | R2718 | R2719 | R2720 | R2721 | R2722 | R2723 | R2724 | R2725 | R2726 | R2727 | R2728 | R2729 | | |
| R2873 | R2874 | R2875 | R2876 | R2877 | R2878 | R2879 | R2880 | R2881 | R2882 | R2883 | R2884 | R2885 | R2886 | R2887 | R2888 | R2889 | R2890 | R2891 | R2892 | R2893 | R2894 | R2895 | R2896 | R2897 | | |
| R3041 | R3042 | R3043 | R3044 | R3045 | R3046 | R3047 | R3048 | R3049 | R3050 | R3051 | R3052 | R3053 | R3054 | R3055 | R3056 | R3057 | R3058 | R3059 | R3060 | R3061 | R3062 | R3063 | R3064 | R3065 | | |
| R3209 | R3210 | R3211 | R3212 | R3213 | R3214 | R3215 | R3216 | R3217 | R3218 | R3219 | R3220 | R3221 | R3222 | R3223 | R3224 | R3225 | R3226 | R3227 | R3228 | R3229 | R3230 | R3231 | R3232 | R3233 | | |
| R3377 | R3378 | R3379 | R3380 | R3381 | R3382 | R3383 | R3384 | R3385 | R3386 | R3387 | R3388 | R3389 | R3390 | R3391 | R3392 | R3393 | R3394 | R3395 | R3396 | R3397 | R3398 | R3399 | R3400 | R3401 | | |
| R3545 | R3546 | R3547 | R3548 | R3549 | R3550 | R3551 | R3552 | R3553 | R3554 | R3555 | R3556 | R3557 | R3558 | R3559 | R3560 | R3561 | R3562 | R3563 | R3564 | R3565 | R3566 | R3567 | R3568 | R3569 | | |
| R3713 | R3714 | R3715 | R3716 | R3717 | R3718 | R3719 | R3720 | R3721 | R3722 | R3723 | R3724 | R3725 | R3726 | R3727 | R3728 | R3729 | R3730 | R3731 | R3732 | R3733 | R3734 | R3735 | R3736 | R3737 | | |
| R3861 | R3862 | R3863 | R3864 | R3865 | R3866 | R3867 | R3868 | R3869 | R3870 | R3871 | R3872 | R3873 | R3874 | R3875 | R3876 | R3877 | R3878 | R3879 | R3880 | R3881 | R3882 | R3883 | R3884 | R3885 | | |
| R4049 | R4050 | R4051 | R4052 | R4053 | R4054 | R4055 | R4056 | R4057 | R4058 | R4059 | R4060 | R4061 | R4062 | R4063 | R4064 | R4065 | R4066 | R4067 | R4068 | R4069 | R4070 | R4071 | R4072 | R4073 | | |
| R4217 | R4218 | R4219 | R4220 | R4221 | R4222 | R4223 | R4224 | R4225 | R4226 | R4227 | R4228 | R4229 | R4230 | R4231 | R4232 | R4233 | R4234 | R4235 | R4236 | R4237 | R4238 | R4239 | R4240 | R4241 | | |
| R4385 | R4386 | R4387 | R4388 | R4389 | R4390 | R4391 | R4392 | R4393 | R4394 | R4395 | R4396 | R4397 | R4398 | R4399 | R4400 | R4401 | R4402 | R4403 | R4404 | R4405 | R4406 | R4407 | R4408 | R4409 | | |

