

METHODOLOGY FOR DIAGNOSIS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN RURAL AREAS OF COLOMBIA, THROUGH A SIMULATED MODEL

METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN LAS ZONAS RURALES DE COLOMBIA, MEDIANTE UN MODELO SIMULADO

Michelle González Velasco, MSc (c).¹, Carolina Suárez Roldan, PhD (c).², and Germán Andrés Méndez Giraldo, PhD³

^{1,3} Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, mngonzalezv@correo.udistrital.edu.co, gmendez@udistrital.edu.co

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad Cooperativa de Colombia csroldan@udistrital.edu.co, carolina.suarez@campusucc.edu.co

Abstract- Public policies for the development of rural areas have been ineffective, since they do not fully respond to the particular needs and dynamics of these territories in Colombia. It is important to carry out diagnoses aimed at rural territories, since they provide clear knowledge of their current conditions. A diagnostic model of sustainable development in rural areas of Colombia is presented, which starts by defining the variables of sustainable development, then it is represented by a causal model that allows integration through fuzzy logic with the continuous simulation model, carried out with VBA (Visual Basic for Application). The importance values of the dimensions of sustainable development are determined, that is, how much economic, productive, environmental and social development weighs respectively. Likewise, the four output variables that correspond to the individual qualifications of the economic, social, productive and environmental dimensions are obtained. From this, the integral qualification of Sustainable Development for the 98 rural municipalities of Colombia is defined.

Keywords: Diagnostic, Sustainable development, Rural areas, Fuzzy logic, Continuous simulation

Resumen- Las políticas públicas para el desarrollo de las zonas rurales han sido poco efectivas, ya que no responden totalmente a las necesidades y dinámicas particulares que tienen estos territorios en Colombia. Es importante realizar diagnósticos orientados a los territorios rurales, ya que brindan un conocimiento claro de las condiciones actuales de los mismos. Se presenta una metodología de diagnóstico de desarrollo sostenible en las zonas rurales de Colombia que parte por definir las variables del desarrollo sostenible, luego se representa por un modelo causal que permite integrar mediante la lógica difusa con el modelo de simulación continua, realizado con VBA (Visual Basic for Application). Se determinan los valores de importancia de las dimensiones del desarrollo sostenible, es decir que tanto pesa el desarrollo económico, productivo, ambiental y social respectivamente. Asimismo, se obtienen las cuatro variables de salida que corresponden a las calificaciones individuales de las dimensiones

económico, social, productivo y ambiental. De esto se define la calificación integral del Desarrollo Sostenible para los 98 municipios rurales de Colombia.

Palabras Claves: Diagnostico, Desarrollo sostenible, Zonas rurales, Lógica difusa, Simulación continua.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los territorios rurales de Colombia se ha caracterizado generalmente por el poco avance y bienestar en lo social, ambiental y económico, razón por la cual los lineamientos y políticas que se han orientado hacia los espacios rurales no han sido efectivas. Por lo tanto, se observa una población rural desarticulada y con pocas posibilidades de un desarrollo equilibrado, en el que se reconocen muchos intentos fallidos de reforma agraria siendo un papel importante en la dinámica, y conflictos que se presentan en el sector rural [1]. De acuerdo con lo anterior, las políticas tienen un rol importante ya que define y orienta el desarrollo y proyección de los territorios. Sin embargo, se observan falencias en el diseño y elaboración de políticas a causa de la escases y el nivel de información de los diagnósticos. Es decir, la información de los diagnósticos no es vigente, razón por la cual las problemáticas, limitaciones y dinámicas actuales de los espacios rurales no se contemplan totalmente. En consecuencia, los diagnósticos son un insumo elemental en el diseño de políticas, razón por la cual se necesita fortalecer y mejorar las metodologías, métodos y/o herramientas de los diagnósticos, con el propósito de que los Actores de los espacios rurales apliquen y se empoderen de esta fase de diagnóstico que hace parte de la planeación de los territorios.

Del mismo modo, se identifica que las políticas sectoriales no han favorecido el desarrollo de los territorios rurales, que

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

en parte se debe a la manipulación política en favorecer a unos poco sobre el bienestar colectivo. Es decir, la manipulación política consiste en implantar pensamientos, actitudes, ideas y conceptos falsamente inmorales en la conciencia humana, que afectan el logro de intereses más elevados como son los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por consiguiente, la capacidad del Estado se ve disminuida para entender de manera clara los objetivos y metas que se deben alcanzar, siendo cada vez más difícil reducir la pobreza, disminuir el hambre, mejorar el acceso y la calidad a la salud y educación, entre otros [2].

En conclusión, el diseño de políticas, estrategias y lineamientos carecen del desarrollo de diagnósticos apropiados que midan las necesidades, problemáticas y dinámicas en los diferentes tipos de territorios. Por lo tanto, la escasez de información del comportamiento de los territorios dificulta el planteamiento de las líneas de acción y priorización de políticas según las dinámicas de las regiones [3]. De acuerdo con lo anterior, se presenta una metodología que permita conocer la situación actual de los territorios rurales, siendo un insumo importante en el diseño y elaboración de políticas para el desarrollo rural.

II. MÉTODO

En la Figura 1 se relacionan las fases que conforman la metodología del objeto de estudio. A continuación, se describe cada una de las fases de la metodología:

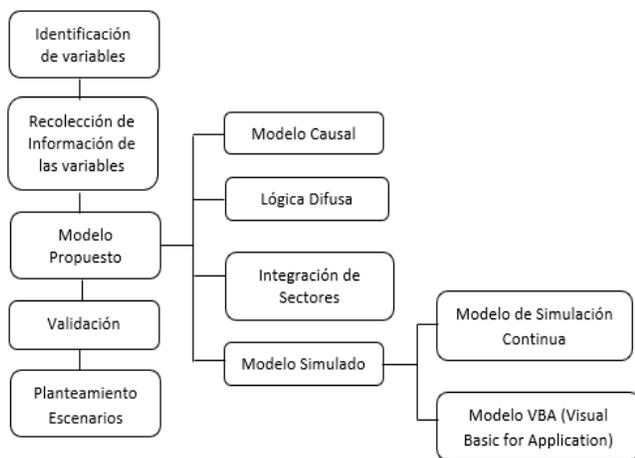


Fig. 1 Fases de la Metodología
Fuente: Elaboración propia

Inicialmente, las variables se identifican mediante la revisión de metodologías realizadas por expertos, en el que se relacionan indicadores que se utilizan en la medición del desarrollo sostenible de los territorios. Por consiguiente, se selecciona la Metodología de la Construcción del Índice de Coherencia de Políticas para el Desarrollo Sostenible (ICPDS) ya que es una herramienta que mide, evalúa y analiza las políticas que contribuyen positivamente y negativamente en

un país [1]. Posteriormente, se organizan las variables suministradas por el ICPDS en una base de datos y se realiza la búsqueda de información de las variables en el Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData que es creado por el Departamento Nacional de Planeación [4]. Seguidamente, se realiza una comparación de las variables obtenidas por el ICPDS y TerriData, en el que se identifican variables sinónimas y otras variables del sector global del ICPDS que no se incluyen ya que no aplican a las dinámicas de los territorios rurales. Asimismo, la selección de los municipios en cada departamento se define a partir de la contribución [5], quien aplica los criterios de densidad poblacional y cabeceras municipales, siendo un aporte que permite una visión representativa de los municipios rurales de Colombia. Del mismo modo, se plantea un modelo que se divide en cuatro bloques el modelo causal, la aplicación de la lógica difusa, la integración de sectores y el modelo simulado. A continuación, se realiza una breve descripción de cada una de ellas:

- **Modelo causal:** Para realizar el modelo causal, se tiene en cuenta el análisis suministrado por el ICPDS, en el que se establecen el tipo de relación de las variables, es decir si las variables contribuyen (positivas) o penalizan (negativas) al desarrollo sostenible. Por lo tanto, en el modelo causal por cada uno de los sectores (económico, social, productivo y ambiental) se representan las relaciones causales de las variables.
- **Lógica difusa:** En las problemáticas de tipo social se identifican variables que tienen un componente de cualificación que se ajusta a las variables lingüísticas que se representan mediante conjuntos difusos. Es por esta razón, que se emplea la lógica difusa en las variables que se estudian en la metodología de diagnóstico.
- **Integración de sectores:** se utiliza la metodología Analytic Hierarchy Process (AHP), que hace parte del método multicriterio de toma de decisiones (MCDM). Se utiliza para integrar los sectores que conforman al desarrollo sostenible
- **En el Modelo Simulado se diseñan dos modelos:** El Modelo de Simulación Continua: se selecciona esta técnica de modelamiento dada la complejidad del objeto de estudio que en parte se representa por la cantidad de relaciones que se identifican en cada uno de los sectores y entre ellos. Por consiguiente, se crea un modelo que aplica la teoría de Forrester y seguidamente se representa en el programa de simulación Stella. Sin embargo, la complejidad en la dimensionalidad (municipios, sectores, periodo de tiempo, escenarios) de los conjuntos de datos no permite continuar con el modelo de simulación continua. A partir de lo anterior, se diseña el modelo de VBA que permite resolver la dimensionalidad de la data. El Modelo VBA: se programa el modelo de acuerdo con la lógica y funcionamiento que se define en los tres bloques anteriores (modelo causal, la lógica difusa, y la integración de los sectores).

Así mismo, la validación se realiza en dos momentos, el primero corresponde al proceso matemático que se aplica a los datos de entrada de las variables, y el segundo se relaciona con los datos de salida en el que se aplica una validación de tipo cualitativa que permite comprobar la correspondencia entre los datos de las variables de salida y el sistema real. Para terminar, se plantean tres escenarios el tendencial, el optimista y el pesimista. El primero corresponde al estado actual siendo tendencial, el segundo corresponde al escenario optimista y el tercero corresponde al escenario pesimista.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se identifican las metodologías que se consultan en la medición del desarrollo sostenible, en el que se selecciona la metodología ICPDS [1], ya que tiene como objetivo el análisis que tiene las políticas públicas en las dimensiones del desarrollo sostenible [6].

TABLA I
METODOLOGÍAS CONSULTADAS

Metodología	Descripción
Construcción del Índice de Coherencia de Políticas para el Desarrollo Sostenible 2019 [1].	Describe de manera detallada el comportamiento del desarrollo sostenible, evaluando las políticas.
Metodología para Estimar el Nivel de Desarrollo Sostenible de Territorios [7].	Se estudian diferentes índices del desarrollo sostenible a través de un Biograma, permitiendo analizar el grado de desempeño de una región determinada.
Guía metodológica Diseño de Indicadores Compuestos de Desarrollo Sostenible [3].	Da a conocer las bases conceptuales y las herramientas metodológicas aplicables al proceso de diseño, cálculo y análisis de un indicador compuesto de desarrollo sostenible.
Metodología de diagnóstico para el desarrollo sustentable [8].	Se presenta el estudio de tres diferentes metodologías: 1) Metodología para el desarrollo microrregional, 2) Índice de sustentabilidad ambiental, 3) Programa de desarrollo productivo sostenible en zonas rurales marginadas.
Metodología para la medición del desarrollo sostenible a nivel subnacional [9].	Metodología de medición de desarrollo sostenible a nivel subnacional, que permita alimentarse de información disponible relacionada con ODS en regiones y subregiones para hacer un cálculo del cumplimiento del desarrollo sostenible.

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del análisis de las variables del ICPDS, se toman las siguientes dimensiones y variables:

- Dimensión económica: Se analizan las variables de Ingresos gubernamentales (% PIB), tasa de variación del Índice de Gini, antes y después de impuestos y

transferencias el índice de Secreto Financiero, el sobredimensionamiento del sector bancario y los titulares de cuentas en instituciones financieras: diferencia entre hombres y mujeres.

- Dimensión Social: donde se consideran las variables de Tasa de permanencia en el último curso de educación secundaria, ambos sexos, la ratio alumnos-profesores en ed. Infantil, la ratio alumnos-profesores en ed. Primaria, la tasa de repetición en educación primaria, todos los grados, ambos sexos, el gasto público en protección social, la población por encima de la edad legal de jubilación que recibe una pensión de vejez, los escaños ocupados por mujeres en los Parlamentos Nacionales, las mujeres en empleo vulnerable: La existencia de legislación contra la violencia de género, el acoso sexual y la violación conyugal, los permisos de maternidad y paternidad, la posición ante la ONU en favor de LGBT y la esperanza de vida saludable al nacer (años). Además, el número de médicos por cada 10.000 habitantes, el índice de cobertura universal de salud, la población con acceso a instalaciones mejoradas de saneamiento, el acceso a internet en las escuelas, los estudiantes matriculados en educación terciaria que son mujeres, los graduados de educación terciaria mujeres, la tasa de desempleo, los desempleados que reciben prestaciones sociales regulares por desempleo y el empleo vulnerable.
- Dimensión productiva: Que analiza las instalaciones de saneamiento mejoradas, la polución atmosférica: nivel promedio de exposición anual a las PM2,5, las fuentes mejoradas de agua, sector rural, el acceso a electricidad, las personas usuarias de Internet, la extracción anual de agua dulce para uso industrial, la ratificación del Convenio sobre el derecho de sindicación y de negociación colectiva, las instalaciones de saneamiento mejoradas, la polución atmosférica: nivel promedio de exposición anual a las PM2,5.
- Dimensión Ambiental donde se analiza las aguas limpias, el uso de fertilizantes, la huella ecológica por producción, la reserva/déficit de biocapacidad, la participación en acuerdos internacionales sobre medio ambiente, la producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica, la huella ecológica por importaciones y las emisiones de dióxido de carbono.

En un análisis posterior se analizan las variables entre el ICPDS (Internacional) y las disponibles en TerriData (Colombia). De este análisis se toman las siguientes dimensiones y variables:

- Dimensión económica: Las variables seleccionadas son PIB per cápita, el coeficiente Gini, los establecimientos financieros y seguros, el Gobierno abierto y transparencia y la diferencia en la participación de los trabajadores cotizantes – Hombres y mujeres.

- **Dimensión Social:** se toman variables como la tasa de deserción educación básica y media, la cobertura neta en transición, la cobertura neta primaria, la cobertura estatal, los trabajadores cotizantes mayores de 60, la satisfacción rural, la tasa de presuntos delitos sexuales mujeres, la tasa de mortalidad neonatal, la cobertura del régimen subsidiado, la cobertura del alcantarillado rural, la penetración banda ancha, la cobertura educación total mujeres, la cobertura educación básica mujeres, las personas ocupadas formalmente y el índice de pobreza monetaria (IPM) IPM rural.
- **Dimensión productiva:** Que analiza la cobertura aseo rural, la emisión bruta del GEI, el PIB Suministro de electricidad y gas, la cobertura energía eléctrica rural, la cobertura internet rural y el agua Potable.
- **Dimensión Ambiental:** variables como cobertura agua rural censo, el uso de fertilizantes, la emisión neta de (Gas Efecto Invernadero) GEI Industrias manufactureras, el porcentaje ecosistemas estratégicos, la emisión neta GEI Industria de la energía, Comercial y la emisión neta GEI.

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LAS VARIABLES

Una vez se identifican las variables, se inicia con la búsqueda de la información, en el que se revisan diferentes bases de datos gubernamentales. Sin embargo, se selecciona el sistema de información TerriData ya que relacionan variables por cada uno de los municipios de Colombia, siendo de interés los municipios rurales. Así mismo, se define que el tiempo de recolección de la data corresponde entre los años 2015 al 2017. A partir de lo anterior, se identifica que existen variables que no cuentan con la información en algunos años, razón por la cual se utiliza técnicas estadísticas para proyectar datos hacia adelante y atrás del periodo analizado. Estas técnicas son modelos de tendencia lineal, variables tipo borrosas (fuzzy) del tipo uniforme, valores obtenidos por promedios móviles y otros mediante regresiones polinómicas. Con estas mismas técnicas se estiman valores faltantes del periodo 2015-2017 y se estiman los datos a futuro 2018-2027.

Se construye una base de datos por cada municipio, en el que se tiene en cuenta las seis regiones que tiene Colombia [10]. Por cada una de las seis regiones donde se toma el departamento rural más representativo y se adiciona otro de interés para efectos de contraste como es el departamento del Tolima. De estos los municipios rurales que en total suman 98 se distribuyen así: 1 para la zona de la amazonia, 43 para la zona Andina, 10 para la zona caribe, 13 para la zona insular, 4 para la zona de la Orinoquía, 11 para la zona pacífica y 16 para el departamento de Tolima.

IV. VARIABLES MODELO CAUSAL

El modelo causal representa las relaciones que existen entre las diferentes variables, de tal manera que permite tener

una visión clara de la metodología de diagnóstico del desarrollo sostenible en las zonas rurales de Colombia. En la Figura 2 se relaciona el diagrama causal y una breve explicación del mismo.

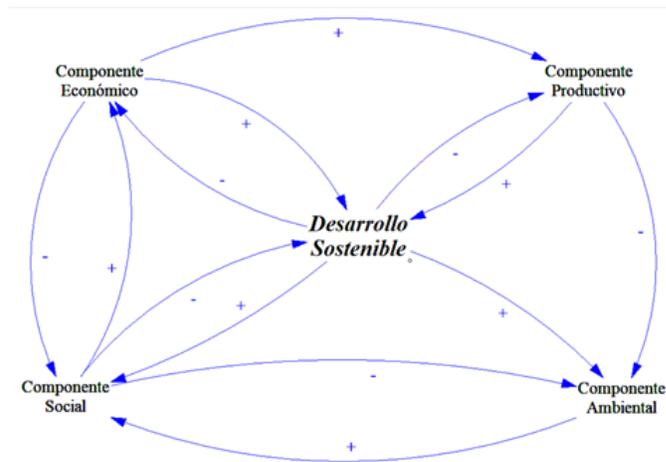


Fig. 2 Diagrama causal del Desarrollo Sostenible
Fuente: Elaboración propia

En este modelo causal se contemplan cuatro dimensiones económico, social, productivo y ambiental con sus respectivas variables y relaciones causales que pueden ser positivas o negativas. A partir de lo anterior, el ICPDS identifica que no todas las variables contribuyen de la misma manera al desarrollo, razón por la cual clasifica la relación en dos grupos las variables que contribuye positivamente al desarrollo, y las variables que penalizan al desarrollo.

A. Componente económico

El diagrama causal del sector económico mide la política fiscal y financiera para establecer las medidas más contundentes, con el fin de reducir las desigualdades, asegurar la inclusión financiera de las mujeres, luchar contra la opacidad y aumentar la transparencia en materia económica [1]. Por consiguiente, en la Tabla II se relaciona el tipo de relación que tienen las variables del componente económico con el desarrollo de las regiones. Así mismo, se explica solamente las relaciones del componente económico, por la cantidad de página indicadas.

TABLA II
COMPONENTE ECONÓMICO DEL DIAGRAMA CAUSAL

Componente	Variable	Reforzador/ Compensador
Económico	PIB per cápita	Reforzador
	Gobierno abierto y transparencia	Reforzador
	Establecimientos financieros, seguros y otros servicios	Compensador
	Coeficiente GINI	Compensador
	Diferencia en la participación de los trabajadores cotizantes – Hombres y mujeres	Compensador

Fuente: Elaboración propia basado en TerriData y el ICPDS

B. Componente social

El sector social tiene como objetivo definir en qué medida se garantizan la protección social de derechos, en el cual se contempla la educación, la igualdad, el empleo, la ciencia y la tecnología y la salud, también tienen en cuenta las diferencias entre hombres y mujeres. Los tipos de relación de las variables del componente social se relacionan en la Tabla III:

TABLA III
COMPONENTE SOCIAL DEL DIAGRAMA CAUSAL

Componente	Variable	Reforzador/ Compensador
Social	Cobertura neta en transición	Reforzador
	Cobertura neta en primaria	Reforzador
	Cobertura estatal Salud	Reforzador
	Trabajadores cotizantes entre 60 años o más	Reforzador
	Cobertura del régimen subsidiado	Reforzador
	Cobertura de alcantarillado rural (REC)	Reforzador
	Penetración de banda ancha	Reforzador
	Cobertura neta en educación total - Mujeres rural	Reforzador
	Cobertura neta en educación básica - Mujeres rural	Reforzador
	Porcentaje de personas ocupadas formalmente con respecto a la población total	Reforzador
	Satisfacción IPM rural	Reforzador
	Tasa de deserción intra-anual del sector oficial en educación básica y media (Desde transición hasta once)	Compensador
	Incidencia de pobreza monetaria extrema en hogares con jefatura femenina	Compensador
	Presuntos delitos sexuales hacia mujeres	Compensador
	Tasa de mortalidad neonatal	Compensador

Fuente: Elaboración propia basado en TerriData y el ICPDS

C. Componente productivo

El sector productivo, instituye la infraestructura, la industria, el transporte teniendo en cuenta los sectores productivos sólidos con proporción ambiental y social. Los tipos de relaciones de las variables del componente productivo se relacionan en la Tabla IV:

TABLA IV
COMPONENTE PRODUCTIVO

Componente	Variable	Reforzador/ Compensador
Productivo	Cobertura de aseo rural (REC)	Reforzador
	PIB - Suministro de electricidad, gas y agua	Reforzador
	Cobertura de energía eléctrica rural	Reforzador
	Cobertura de Internet Rural (Censo)	Reforzador
	Agua potable % SGP	Reforzador
	Emisión bruta de GEI	Compensador

Fuente: Elaboración propia basado en el ICPDS

D. Componente ambiental

En la dimensión ambiental se estudia cuatro políticas que corresponde a la pesca, el desarrollo agrícola, el desarrollo rural, la energía y la biodiversidad. Así mismo, se evalúa los impactos ambientales. Los tipos de relaciones de las variables del componente ambiental se representan en la Tabla V:

TABLA V
COMPONENTE AMBIENTAL DEL DIAGRAMA CAUSAL

Componente	Variable	Reforzador/ Compensador
Ambiental	Cobertura de acueducto rural (Censo)	Reforzador
	Porcentaje del área total de ecosistemas estratégicos	Reforzador
	Emisión Neta de GEI - Total Actividad Rural	Compensador
	Emisión neta de GEI - Industrias manufactureras y de la construcción	Compensador
	Emisión neta de GEI - Industrias de la energía	Compensador
	Emisión neta de GEI - Comercial	Compensador
	Emisión neta de GEI	Compensador

Fuente: Elaboración propia basado en el ICPDS

V. MODELADO CON LOGICA DIFUSA

La lógica difusa utiliza variables que se expresan con etiquetas del lenguaje natural que cualifican frecuentemente situaciones de la vida diaria. Por consiguiente, la lógica difusa es la cuantifica de alguna manera los adjetivos o etiquetas del objeto que se estudia. A partir de lo anterior, se identifica que las variables que hacen parte de la metodología presentan un componente fuerte en la cualificación del lenguaje natural [11]. A continuación, se relaciona la aplicación de la lógica difusa en las variables del componente económico.

A. Fuzzificación de las variables lingüísticas

Las variables lingüísticas se definen a partir de la variación de las variables Dx en el periodo $t+1$ vs t . Por consiguiente, se califica la variación de las variables Cx en función de si la variable es reforzadora o compensadora ver Tabla VI.

TABLA VI
CALIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LAS VARIABLES

Variación Variables	Calificación de la Variación (Reforzadora)	Variación Variables	Calificación de la Variación (Compensadora)
$Dx \geq 0.2$	$Cx = 3$	$Dx \leq -0.2$	$Cx = -3$
$Dx \geq 0.1$	$Cx = 2$	$Dx \leq -0.1$	$Cx = -2$
$Dx > 0$	$Cx = 1$	$Dx > 0$	$Cx = -1$
$Dx = 0$	$Cx = 0$		

Las variables se fuzzifican por Fx a partir de las calificaciones de la variación Cx en dependencia de si la

variable es reforzadora o compensadora donde para C_x variando de 3 a -3. Entonces F_x será: Altamente positivo, medianamente positivo, bajamente positivo, para valores de 3 a 1, respectivamente; toma el valor neutro para cero y los valores de bajamente negativo, medianamente negativo y altamente negativo para los valores de -1 a -3, respectivamente.

B. Desfuzzificación de variables

Luego, se realiza el proceso de defuzzificación el cual permite asociar a un conjunto difuso un número no difuso. Es decir, se transforma las variables lingüísticas a un número real que servirá para dar la calificación. Para ello se indica que una variable altamente positiva se asocia un valor de 5.0 mientras que para la variable medianamente positiva el valor de 4.6, la variable bajamente positiva toma el valor de 3.5, la neutra el valor de 3.0, la bajamente negativa toma el valor 2.5, la medianamente negativa el valor 2.0 u la altamente negativa obtiene el valor de 1.0.

VI. INTEGRACIÓN DE SECTORES

Se selecciona la técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para integrar los sectores del modelo, ya que se emplea el criterio de expertos en la asignación de pesos en cada uno de los sectores. Inicialmente se conoce la escala proporcionada por Thomas L. Saaty y que permite identificar la escala numérica y la escala verbal para poder comparar dos elementos y determinar la importancia del uno sobre el otro, una vez realizada dicha comparación, se crea la matriz de comparación de criterios, obteniendo los resultados que se observan en la Tabla VII, [12].

TABLA VII
MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS

CRITERIOS	1. Sector económico	2. Sector social	3. Sector ambiental	4. Sector productivo
1. Sector económico	1	2	1	1
2. Sector productivo	1/2	1	1	1/2
3. Sector ambiental	1	1	1	1
4. Sector social	1	2	1	1
Total	3,5	6	4	3,5

Fuente: Elaboración propia

Se realiza una comparación entre los diferentes sectores, con el fin de relacionar una comparación por cada sector y asociarle un peso. Posteriormente, se realiza la matriz normalizada que representa la división de cada valor obtenido entre el total, de esta manera se calcula el promedio por cada una de las filas (ver Tabla VIII).

TABLA VIII
MATRIZ NORMALIZADA CALIFICACIÓN CRITERIOS

	S1	S2	S3	S4	Ponderación
S1	0,29	0,33	0,25	0,29	0,29
S2	0,14	0,17	0,25	0,14	0,18
S3	0,29	0,17	0,25	0,29	0,25
S4	0,29	0,33	0,25	0,29	0,29

S1: Sector Económico – S2: Sector Productivo – S3: Sector Ambiental – S4: Sector Social. Fuente: Elaboración propia

Se identifica que el sector que presenta el mayor peso es el económico, seguido del sector productivo, el sector ambiental y el sector social. De la misma manera, se calcula la razón de consistencia que permite validar el juicio de los expertos, a partir de las siguientes ecuaciones:

$$IA = 1.98 * (n - 2) / n \quad (1)$$

En la ecuación (1), IA es el índice de consistencia aleatoria, siendo el índice de consistencia de una matriz de comparaciones. Finalmente se realiza la razón de consistencia, si es una $RC \leq 0.10$ es una consistencia razonable y si $RC > 0.10$ es inconsistente. El índice de consistencia es calculado, obteniendo un índice de consistencia de 0,021, ahora bien, se realiza la división entre los datos obtenidos para conocer si efectivamente existe una consistencia razonable utilizando la siguiente ecuación (2):

$$CR = \frac{0,02083}{0,99} = 0.02104377 \quad (2)$$

De acuerdo con el resultado, se identifica que la razón de consistencia genera un valor de 0.02104377 lo cual indica que es ≤ 0.10 siendo una consistencia razonable.

MODELADO CON DINÁMICA DE SISTEMAS

Para el modelo con dinámica de sistemas se toma como ejemplo el sector económico, en el que se relacionan las variables de acuerdo al modelo causal generado, en el que se identifica si son reforzadoras o compensadoras. En la Figura 3 se relacionan las variables en el diagrama de Forrester, en el que se ingresan los datos del año 2018 al 2028 en el programa iThink, pero dada la complejidad en la dimensionalidad de los datos de las variables (municipios, sectores, periodo de tiempo, escenarios) no permite correr el modelo de forma apropiada en el programa computacional Stella iThink, razón por la cual se recurre a la construcción de un modelo de simulación en VBA.

En general para evaluar la calificación del desarrollo sostenible municipal se emplean las ecuaciones 3 y 4.

$$DS_t = DS_{t-1} + \sum_{j=1}^n PC_j \times VARCOM_{jt} \quad (3)$$

$$VARCOM_{jt} = \sum_{i=1}^m FRef_{ijt} - FCom_{ijt} \quad (4)$$

Donde el Desarrollo sostenible municipal DS_t en cada período anual t depende de su valor anterior y de la suma de las variaciones de cada uno de los componentes $VARCOM_{jt}$: económico, social, ambiental y productivo por su correspondiente peso PC_j . Por su parte estas variaciones se obtienen de sumar todas las variables difusas tanto para los componentes reforzadores $FRef_{ijt}$ como para las variables compensadoras $RCom_{ijt}$ tal y como se explica arriba.

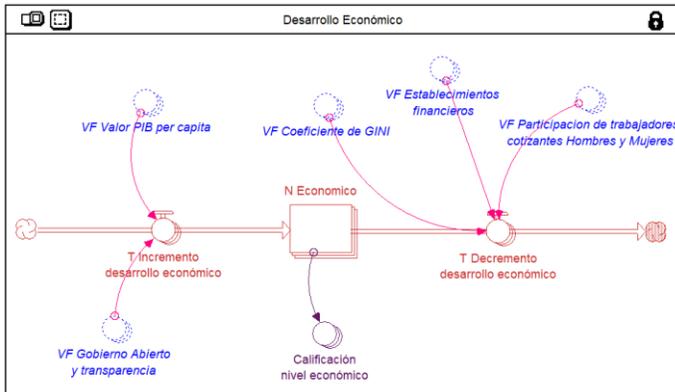


Fig. 3 Sector económico Stella iThink.
Fuente: Elaboración propia

MODELO VISUAL BASIC APPLICATION (VBA)

A partir de los resultados del modelo causal, la aplicación de la lógica difusa y la integración de los sectores (método AHP), se configuró la estructura y la lógica de la programación del modelo VBA. En la Figura 4, se relaciona la estructura de los componentes que integran dicho modelo.

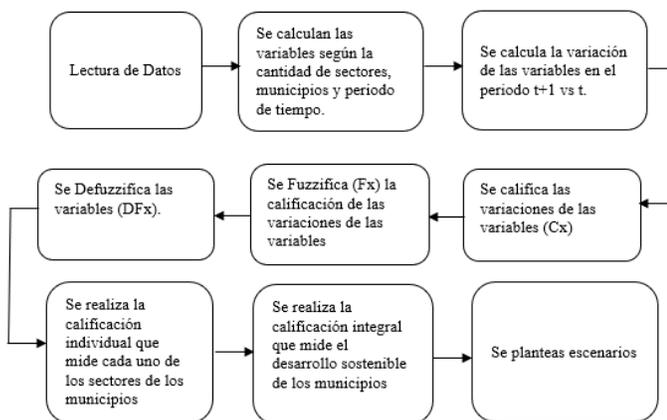


Fig. 4 Modelo Visual Basic Application
Fuente: Elaboración propia

Se realiza la lectura de los datos que relacionan los 98 municipios, las 33 variables que se clasifican reforzadoras o compensadoras. Así mismo, se indica si son de tipo 1 (variable aleatoria uniformemente distribuida) o de tipo 2 (regresión lineal con variable aleatoria) para los once (11) años. Posteriormente, se calcula las variaciones de las variables para un período $t+1$ vs t , y se califican las variaciones de acuerdo a si es reforzadora o compensadora. Seguidamente, se definen las variables lingüísticas a partir de las calificaciones de las variaciones de las variables, y se realiza el proceso de defuzzificar las variables que es transformar las variables lingüísticas a un número real. De la misma manera, se promedian las variables tanto reforzadoras como compensador que determinan la calificación por cada sector económico, social, productivo y ambiental en cada uno de los municipios (calificación individual). Posteriormente, se alimentan los resultados del método AHP que permiten obtener la calificación del desarrollo sostenible en cada uno de los municipios que es la calificación integral del municipio.

VALIDACIÓN

La validación se realiza en dos momentos, el primero corresponde a la correlación que tienen los datos de entrada. En la Tabla IX se presenta un ejemplo en el que se relacionan tres variables con unos coeficientes de correlación significativos y positivos que indica una alta asociación de los datos de entradas de las variables. Así mismo, la validación se evidencia desde la identificación de la función que represente el mejor ajuste al comportamiento de los datos reales de las variables, cuya tendencia es lineal o polinómicas. Del mismo modo, el segundo momento corresponde a una validación cualitativa, en el que se relaciona el comportamiento de las variables de salida con referentes teóricos que respaldan los resultados. A partir de la delimitación de los espacios rurales de Colombia, se selecciona los cuatro municipios rurales del departamento de Casanare, designados por M: Monterrey, P: Pore, R: Recetor, V: Villanueva; siendo esta una muestra de municipios para representar y analizar las variables de salida y los escenarios.

TABLA IX
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE ALGUNAS VARIABLES

Variables	Coefficiente de Correlación (r)
Trabajadores mayores de 60 años	0,924
Porcentaje de personas ocupadas formalmente con respecto a la población total.	0,998
Coefficiente Gini	0.962

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se relacionan las cuatro variables de salida que corresponden a las calificaciones individuales del Desarrollo Económico (CDE), Desarrollo Social (CDSO), Desarrollo Productivo (CDP) y Desarrollo Ambiental (CDA). De la misma manera, se define la quinta variable de salida que

es la calificación integral del Desarrollo Sostenible (CDS), siendo la integración de las calificaciones individuales.

Igualmente, en la Figura V se observan los resultados de las cinco variables de salida en cada uno de los municipios rurales del Departamento de Casanare, en el que se define una escala de calificación de 1 – 5, siendo 1 el menor y 5 el máximo valor. A partir de lo anterior, se identifica que los municipios Monterrey, Recetor y Villanueva presentan la calificación más alta en el desarrollo económico, en cambio el municipio de Pore en el desarrollo productivo. De la misma manera, se analiza que el desarrollo social de los municipios presenta una calificación equivalente, y que la menor calificación corresponde al desarrollo ambiental en cada uno de los municipios.

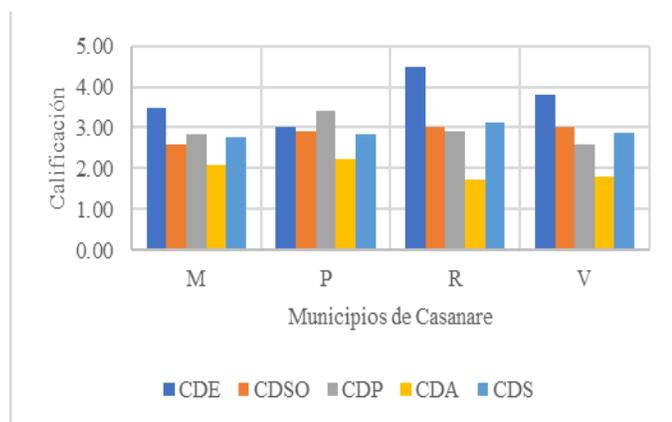


Fig. 5 Variables de Salida de los Municipios Rurales (Casanare)
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, existen fuentes que confirman que el desarrollo económico creció en un 3.5% en el año 2022 [13], siendo el sector económico el que presenta un mayor valor en la calificación. Asimismo, se identifica poco avance en ampliar la cobertura de educación, en la reducción del desempleo, en aumentar el acceso a la vivienda que hacen que las condiciones de vida de la población rural no sean fáciles, razón por la cual la calificación del desarrollo social en los municipios no pasa de 3.0 [14]. En cuanto al desarrollo ambiental la agricultura extensiva, la deforestación y la contaminación ambiental, está afectando la conservación de los recursos naturales en la región [14].

ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Se proponen cinco escenarios que corresponden al tendencial que es el normal tal como está, se continúa con el pesimista en el que se experimenta una disminución del 20% y del 10% para cada una de las variables por separado, y por último el optimista que corresponde a aumentar un 20% y 10% para cada variable por separado. En la Tabla X se

describen los cinco escenarios que se experimentan en el modelo que sustenta la metodología de diagnóstico.

TABLA X
DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

Escenario	Descripción
Tendencial	Se obtienen la calificación por cada sector (económico, social, productivo y ambiental) y del desarrollo sostenible de acuerdo a la operación de los datos a partir del año 2018 hasta el año 2028.
Pesimista (Disminuye - 20%)	Se genera a partir del escenario tendencial el cual permite observar por cada una de las 33 variables que pasa si se disminuye en un 20%.
Pesimista (Disminuye - 10%)	Se genera a partir del escenario tendencial el cual permite observar por cada una de las 33 variables que pasa si se disminuye en un 10%.
Optimista (Aumenta + 10%)	Se genera a partir del escenario tendencial el cual permite observar por cada una de las 33 variables que pasa si se aumenta en un 10%.
Optimista (Aumenta + 20%)	Se genera a partir del escenario tendencial el cual permite observar por cada una de las 33 variables que pasa si se aumenta en un 20%.

Fuente: Elaboración propia

En general para un escenario tendencial, la calificación promedio de los municipios rurales en Colombia son regulares es decir están cercanas a 3.0 en concreto toman en promedio un valor de 2.94 de calificación para el DS. Solo el 17% obtienen un valor mayor al 3.0 pero se indica que el mayor valor obtenido es de 3.12 y el menor de 2.88. A partir de la tabla anterior, se identifica una cantidad representativa en la combinación de los escenarios por cada una de las variables. A nivel de ejemplo, se toma la variable área total de ecosistemas estratégicos, que corresponde al desarrollo ambiental, se analiza el cambio en el mismo sector al que pertenece la variable. Esta experimentación muestra el impacto de esta variable en los municipios rurales del departamento de Casanare (ver Tabla XI).

En la Tabla XI se relacionan los resultados de la calificación del desarrollo ambiental, si se modifica la variable Área Total de Ecosistemas Estrategias (ATEE) en cada uno de los escenarios. A partir de lo anterior, la variable ATEE es una de las variables que tienen mayor relevancia en el cuidado y preservación de los recursos naturales de los municipios. Por consiguiente, a medida que se incrementa a un 20% la variable ATEE se observa un aumento en el desarrollo ambiental del departamento de Casanare, siendo un escenario de gran importancia ya que contrarresta en parte el uso de los recursos que se relacionan en el sector económico y productivo de la región.

ESCAMENARIOS ÁREA TOTAL DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS.
DESARROLLO AMBIENTAL

Escenarios	Años					Prom.
	2023	2024	2025	2026	2027	
Monterrey						
+ 20%	2,81	3,18	2,59	2,94	3,16	2,94
+ 10%	2,81	3,18	2,59	2,94	3,16	2,94
Normal	2,77	3,15	2,55	2,90	3,13	2,90
- 10%	2,76	3,13	2,53	2,89	3,11	2,88
- 20%	2,74	3,11	2,52	2,87	3,09	2,87
Pore						
+ 20%	2,87	2,60	3,30	2,73	2,83	2,87
+ 10%	2,87	2,60	3,30	2,73	2,83	2,87
Normal	2,84	2,57	3,26	2,69	2,80	2,83
- 10%	2,82	2,55	3,24	2,68	2,78	2,81
- 20%	2,80	2,53	3,22	2,66	2,76	2,79
Recetor						
+ 20%	3,20	2,91	3,17	2,74	2,98	3,00
+ 10%	3,16	2,87	3,14	2,70	2,94	2,96
Normal	3,13	2,84	3,10	2,67	2,91	2,93
- 10%	3,05	2,77	3,03	2,60	2,84	2,86
- 20%	3,05	2,77	3,03	2,60	2,84	2,86
Villanueva						
+ 20%	2,91	3,09	2,85	2,95	2,72	2,91
+ 10%	2,91	3,09	2,85	2,95	2,72	2,91
Normal	2,87	3,06	2,82	2,91	2,69	2,87
- 10%	2,86	3,04	2,80	2,89	2,67	2,85
- 20%	2,84	3,02	2,78	2,88	2,65	2,83

Fuente: Elaboración propia

A partir de la corrida de los escenarios se determina que algunas variables afectan de mejor manera la calificación de Desarrollo Sostenible Municipal, pero que su aporte dependerá de si esta variable es de carácter reforzador o compensador. Es decir, que las variables reforzadoras en el escenario de aumento del 20% generan mejoras al igual que las compensadoras lo hacen cuando toman el escenario de disminución del 20%. Sin embargo, en los aportes generales promedio los aportes son casi insensibles debido principalmente al tratamiento de lógica difusa por tener unos rangos de aceptación o rechazo mayores; lo que hace pensar en poder cambiar los límites de cada escenario.

Las variables de mayor incidencia para cada sector económico, social, productivo y ambiental para el caso de las

variables reforzadoras son respectivamente: PIB per cápita, Satisfacción IPM rural, Agua potable % SGP y Cobertura de acueducto rural (Censo). En el caso de las variables compensadoras para los cuatro sectores se tienen: Coeficiente Gini, Incidencia de pobreza monetaria extrema en hogares con jefatura femenina, Emisión bruta de GEI y Emisión neta de GEI. Estas serían en especial las variables donde las primero cuatro deberían aumentarse y las segundas disminuirse, de hacerse esto en promedio se mejora entre el 15 al 20% la calificación promedio de DS municipal.

También, es importante mencionar que cerca del 60% de los municipios presentan una disminución de la población rural, lo que afecta de manera significativa la calificación del DS municipal en el tiempo, razón por la cual es prioridad reducir y frenar esta migración rural a las ciudades si se desea buscar un desarrollo sostenible y sostenido en el tiempo.

CONCLUSIONES

A partir del estudio de las diferentes metodologías de medición del desarrollo sostenible en los territorios, se selecciona la metodología ICPDS ya que tiene como objetivo medir el impacto que tiene las políticas públicas en las dimensiones del desarrollo sostenible. Por consiguiente, se identifican cinco (5) variables para el desarrollo económico, quince (15) variables para el desarrollo social, seis (6) variables para el desarrollo productivo y siete (7) variables para el desarrollo ambiental. Aunque estas variables permiten cumplir con la medición del desarrollo sostenible municipal, es importante que a nivel nacional se disponga de más indicadores que faciliten la medición y aproxime esta propuesta a la del ICPDS.

Para el desarrollo de este modelo se plantea una metodología que integra diferentes técnicas tanto blandas como duras y que son propias de la representación de sistemas complejos. En el primer conjunto se tiene las técnicas de análisis de Pareto y de espina de pescado para concluir con el moldeamiento causal; mientras que en las segundas se trabajaron con técnicas como el AHP, la lógica difusa para converger en la simulación continua. Toda esta integración de herramientas permite una representación adecuada para el desarrollo económico, social, productivo, y ambiental siendo las dimensiones que corresponden al desarrollo sostenible.

Se cumple con el propósito y funcionalidad de la metodología de diagnóstico de desarrollo sostenible en las zonas rurales, ya que califica de manera individual cada una de las dimensiones (desarrollo económico, social, productivo y ambiental), y de forma integral el desarrollo sostenible de los 98 municipios rurales de Colombia. Asimismo, es un aporte representativo en el desarrollo de diagnósticos, e insumos de política que se orienten al desarrollo sostenible de los territorios rurales. El desarrollo de modelos matemáticos en torno a problemas

sociales no es una labor sencilla ya que se emplea diferentes técnicas y/o herramientas para lograr los resultados esperados.

REFERENCIAS

- [1] Payno, M. L. G. El Índice de Coherencia de Políticas para el Desarrollo Sostenible (ICPDS) 2019. El cambio inaplazable. In Libro de Actas Akten Liburua Conference Proceedings (p. 191).
- [2] UNODC. (2017). La Convención de las Naciones Unidas contra la Corrupción. Obtenido de <https://www.unodc.org/ropan/es/AntiCorruptionARAC/unodc-and-corruption.html>
- [3] CEPAL. (2009). Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3661-guia-metodologica-diseno-indicadores-compuestos-desarrollo-sostenible>
- [4] Terridata. (2022). Briefer escucha Casanare. Obtenido de <https://pactocolombiajuventudes.presidencia.gov.co/assets/relatorias/CASANARE.pdf>
- [5] Pérez Correa, E., & Pérez Martínez, M. (2002). El sector rural en Colombia su crisis actual. Obtenido de El sector rural en Colombia su crisis actual: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/1993>
- [6] M.^a Luisa Gil Payno. (2021). ECONOMSITA SIN FRONTERAS. Obtenido de OTRAS FORMAS DE MEDIR (Y ENTENDER) EL DESARROLLO: <https://ecosfron.org/wp-content/uploads/2021/04/Dossieres-EsF-41-Otras-formas-de-medir-y-entender-el-desarrollo.pdf>
- [7] Sepúlveda, S. (2008). METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL NIVEL DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE TERRITORIOS. Obtenido de <http://repiica.iica.int/docs/B0664e/B0664e.pdf>
- [8] Lares, O. (2004). Metodología de diagnóstico para el Desarrollo Sustentable. Obtenido de Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle.
- [9] Cano, J. (2020). Metodología para la medición del desarrollo sostenible a nivel subnacional. Obtenido de <https://investigaciones-pure.udem.edu.co/es/projects/metodolog%C3%ADa-para-la-medici%C3%B3n-del-desarrollo-sostenible-a-nivel-su>
- [10] Pérez Correa, E., & Pérez Martínez, M. (2002). El sector rural en Colombia su crisis actual. Obtenido de El sector rural en Colombia su crisis actual: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/1993>
- [11] Almache, J. (2013). Lógica clásica y lógica difusa: Facetas que las caracterizan. Obtenido de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/estoa/article/view/306>
- [12] Toskano, H. (2018). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores. Obtenido de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.PDF
- [13] DANE (2022). El país. Obtenido de <https://elpais.com/america-colombia/2023-02-15/la-economia-colombiana-crecio-el-75-en-2022.html>
- [14] Terridata. (2022). Briefer escucha Casanare. Obtenido de <https://pactocolombiajuventudes.presidencia.gov.co/assets/relatorias/CASANARE.pdf>