

**EFICIENCIA Y GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA PLANEACIÓN DE TERRITORIOS
SOSTENIBLES Y LA DISMINUCIÓN DE SUS IMPACTOS AMBIENTALES: ANÁLISIS
DEL PROCESO CAFETERO EN EL MUNICIPIO DE PITALITO**

JUAN DAVID SEPULVEDA CHAVERRA
Ing. Industrial M.Sc.

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN DESARROLLO SOSTENIBLE
UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN DESARROLLO SOSTENIBLE
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS
UNIVERSIDAD DE MANIZALES**

2017

**EFICIENCIA Y GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA PLANEACIÓN DE TERRITORIOS
SOSTENIBLES Y LA DISMINUCIÓN DE SUS IMPACTOS AMBIENTALES: ANÁLISIS
DEL PROCESO CAFETERO EN EL MUNICIPIO DE PITALITO**

JUAN DAVID SEPULVEDA CHAVERRA
Ing. Industrial M.Sc.

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE DOCTOR EN DESARROLLO SOSTENIBLE
UNIVERSIDAD DE MANIZALES

DIRECTOR

NÉSTOR M. RIAÑO H.
Ing. Agrónomo Dr.Sc.

PROGRAMA DE DOCTORADO EN DESARROLLO SOSTENIBLE
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS
UNIVERSIDAD DE MANIZALES

2017

Nota de aceptacion

Presidente del jurado

Jurado

Manizales, Noviembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

En la consecución de los objetivos de este trabajo, directa e indirectamente muchísimas personas participaron, aportaron y apoyaron, y aunque el espacio es breve, quisiera hacer un reconocimiento formal a todos aquellos que de alguna manera han sido claves en la estructuración y desarrollo del mismo:

- El programa de becas Colciencias cuyo aporte en la financiación del estudio, pasantía, sostenimiento y actividades finales de investigación fue fundamental para el acceso y desarrollo de este programa.
- El equipo formador del programa de doctorado, su director el Doctor Ciro Serna, Luz Magnolia y el concejo de doctores que siempre estuvieron presentes en la evolución de esta idea y proyecto;
- A mis compañeros de la primera cohorte del programa, con quienes fue un placer compartir las aulas, la universidad, y la ciudad; a ellos que ayudaron a que el tiempo y el espacio no estuvieran vacíos de compañía, cariño, hermandad y aprendizaje.
- El Doctor Nestor Riaño, con su apoyo, consejos, orientación y las largas y profundas discusiones que siempre mantuvimos alrededor del tema mientras recorriamos las vías del país, mientras nos sentábamos a contemplar y pensar, mientras trabajábamos, y mientras trataba de aprender de cada pedazo de toda esa vasta experiencia que quizo compartir conmigo.
- Los 24 Green Talents 2014 que me ayudaron a tener una idea más profunda de los problemas de sostenibilidad alrededor del mundo, que me brindaron su amistad y compañía en las largas horas de viaje que compartimos, las jornadas, las visitas, el forum, las calles, los bares y las ciudades alemanas: Max, Eva, Sergio, Lova, Femeena, Tatiana, Nikolaos, Paribesh, Kerry, Li Wei, Asad, Irene, Jian, Martin, Maks, Melissa, Patricio, Kenny, Nkumulo, Heather, Burak, Jing, Saif, Huai.
- El grupo de investigación en eficiencia de recursos de la Universidad de Goetingen, a la cabeza de la Doctora Jutta Gelderman, y los grandes amigos y compañeros que me acompañaron durante las estancias doctorales: Francesco, Nils, Bea, Lars, Tobias, Kristin y todos quienes hicieron de mi estancia una experiencia enriquecedora, más allá de las fronteras y las diferencias, y quienes

me ayudaron a entender de alguna manera, que el mundo es un lugar de contrastes.

- Mi familia y mis amigos, que sufrieron las horas de ausencia, los días, las semanas, los meses, inclusive; encerrado escribiendo, o lejos aprendiendo, mis padres, mis hermanos, mi hijo, mi esposa, quién además con su consejo y conocimiento ayudó a moldear estos resultados.
- Mis amigos, todos, quienes de alguna manera estuvieron ahí, ya fuera para sacarme del mundo cuando la mente se embrollaba y no encontraba salidas, para enviar ánimos, para darme motivos de envidia y ejemplo de lo que quiero ser o para incluso brindar apoyo técnico en la redacción y la revisión de este documento: Ana, Karen, Michel, Ciro, Alvaro, Gerardo, Carlos, Kevin, Luis, Abraham, Oscar, Maria T, Pilar, Margarita, Leidy, Niza.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCION.....	14
CAPÍTULO 1: DISEÑO TEÓRICO.....	16
1.1. DESCRIPCION DEL AREA PROBLEMÁTICA.....	16
1.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACION.....	18
1.3. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	18
1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	20
1.4.1. Interés	20
1.4.2. Novedad.....	21
1.4.3. Utilidad	22
1.5. OBJETIVOS	23
1.5.1. General	23
1.5.2. Específicos.....	23
1.6. HIPÓTESIS, SUPUESTOS Y VARIABLES.....	24
1.6.1. Variables del estudio	25
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACION TEORICA.....	26
2.1. INTERRELACIONES ENERGÍA-TERRITORIO-DESARROLLO (ETD): ANÁLISIS DE TENDENCIAS Y ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA	26
2.1.1. Definiciones.....	26
2.1.2. Interrelaciones Energía-Territorio-Desarrollo (ETD).....	35
2.1.3. Energía-Territorio-Desarrollo	40
2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA E IMPACTOS AMBIENTALES EN LA RELACIÓN ENERGÍA-TERRITORIO-DESARROLLO	43
2.2.1. Fundamentos	43
2.2.2. Eficiencia energética, y sostenibilidad en el marco ETD	44
2.2.3. Medición y evaluación de la eficiencia en el marco ETD.....	45
2.2.4. Síntesis emergética	46
2.2.5. Análisis envolvente de datos	49
CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLOGICO	51
3.1. TIPO DE INVESTIGACION	51

3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.3.	PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.3.1.	Análisis de relaciones ETD.....	53
3.3.2.	Modelado matemático.....	55
3.3.3.	Diagnóstico y caracterización de territorios.....	56
3.3.4.	Propuesta y estrategias.....	56
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	57
3.4.1.	Técnicas de investigación.....	57
3.4.2.	Instrumentos.....	57
CAPÍTULO 4: SÍNTESIS EMERGÉTICA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD: ANÁLISIS DE FLUJOS ENERGÉTICOS EN LA DINÁMICA TERRITORIAL DE PITALITO-HUILA.....		
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	59
4.2.	SÍNTESIS EMERGÉTICA.....	60
4.2.1.	Diagrama general y descripción del sistema territorial.....	60
4.2.2.	Análisis de flujos y consumo emergético.....	61
4.2.3.	Balance e indicadores emergéticos agregados.....	73
CAPÍTULO 5: DESARROLLO SOSTENIBLE, EFICIENCIA ENERGÉTICA E IMPACTOS AMBIENTALES EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CAFÉ.....		
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	76
5.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS ANALIZADOS.....	77
5.2.1.	Análisis descriptivo.....	77
5.3.	MODELO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS.....	79
5.4.	PROCESOS Y FLUJOS ENERGÉTICOS.....	82
5.4.1.	Modelo sistémico del procesamiento de café.....	82
5.4.2.	Análisis emergético.....	83
5.4.3.	Indicadores de sostenibilidad.....	89
5.5.	EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	91
5.5.1.	Modelo DEA.....	91
5.5.2.	Análisis de resultados.....	98
CAPÍTULO 6: ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE TERRITORIAL BASADA EN EL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA Y LA DISMINUCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.....		
		103

6.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	103
6.1.1.	Flujos energéticos	103
6.1.2.	Objetivos de eficiencia.....	104
6.2.	SÍNTESIS ESTRATÉGICA GENERAL	106
6.2.1.	Fundamentos de la estrategia	107
6.2.2.	Ejes estratégicos	108
	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	112
	BIBLIOGRAFIA.....	120
	ANEXOS	136
	Primera etapa: Revisión bibliográfica individual	137
	Segunda etapa: Revisión de términos interrelacionados.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución porcentual de documentos con el término “territory”	27
Figura 2. Área de estudio en documentos relacionados con “energy”	33
Figura 3. Árbol de vecindades de palabras clave en la relación Territorio-Desarrollo.	36
Figura 4. Árbol de vecindades, Relación Territorio-Energía.	38
Figura 5. Árbol de vecindades relación Energía-Desarrollo.	39
Figura 6. Árbol de vecindades relación ETD.	41
Figura 7. Diagrama sistémico del proceso de transformación energética.	47
Figura 8. Estructura general del diseño metodológico aplicado	53
Figura 9. Esquema metodológico de la revisión.....	54
Figura 10. Proceso metodológico de integración energía-DEA.	55
Figura 11. Diagrama genérico para síntesis energética en sistemas territoriales.	60
Figura 12. Aporte energético por cultivos censados.....	67
Figura 13. Consumo energético del cultivo de cafetos (sej) en el periodo 2007-2014.	68
Figura 14. Evolución del número de cabezas de ganado.....	69
Figura 15. Extracción del mapa de erosión en el Departamento del Huila	71
Figura 16. Evolución del consumo energético debido a pérdida de suelo en agricultura y al café.....	72
Figura 17. Resumen de flujos en el municipio de Pitalito.	74
Figura 18. Distribución del tamaño de las fincas analizadas.	77
Figura 19. Valores descriptivos de los lotes analizados.	78
Figura 20. Descripción general del modelo	79
Figura 21. Diagrama sistémico general de producción de café	82
Figura 22. Consumo de recursos renovables (R).....	85
Figura 23. Entrada de datos en el complemento DEA-Excel.....	95
Figura 24. Análisis de conglomerados en territorios Pareto eficientes con SPSS	99
Figura 25. Relación entre uso de energía y producción	104
Figura 26. Principios de eficiencia energética y desarrollo sostenible del territorio	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones de territorio identificadas en la literatura.	29
Tabla 2. Conceptualización y definiciones de “energía” en diversos campos.	34
Tabla 3. Resumen de flujos energéticos en Pitalito para el año 2015	62
Tabla 4. Indicadores energéticos	74
Tabla 5. Condiciones ambientales y de productividad del cafeto.	84
Tabla 6. Ecuaciones de cálculo de flujos Renovables (Lluvia)	84
Tabla 7. Participación de cada ítem en el cálculo de flujos subsidiados.	88
Tabla 8. Cálculo de indicadores energéticos para los territorios analizados.	89
Tabla 9. Comparación de índices de sostenibilidad energética para el cafeto.	90
Tabla 10. Variables analizadas en el modelo de eficiencia territorial para café.	91
Tabla 11. Valores de entrada para el análisis envolvente	92
Tabla 12. Resultados de estudio de eficiencia DEA.	95
Tabla 13. Frecuencia absoluta de pares de referencia propuestos por el modelo DEA .	101
Tabla 14. Valor promedio de disminución de flujos e incremento de ESI	106

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Proceso de revisión cienciométrico	137
Anexo 2. Listado de anexos electrónicos	140

RESUMEN

La energía es un elemento fundamental del desarrollo en los territorios y en este contexto, la gestión eficiente de este recurso es un factor clave para la sostenibilidad; sin embargo en la práctica, la eficiencia energética ha sido asumida exclusivamente como la medición de indicadores técnicos de productividad y rentabilidad basada en la cuantificación del uso de portadores tradicionales (renovables y no renovables) obviando el aporte energético de la naturaleza en los diferentes procesos existentes en el territorio. Con el ánimo de obtener una visión más completa de los sistemas bajo estudio desde el enfoque de la relación entre energía, territorio y desarrollo, este proyecto integra la síntesis energética como medio de valoración de los diferentes flujos energéticos existentes en el territorio y el análisis envolvente de datos como una herramienta que permite la evaluación de la eficiencia energética tomando en cuenta la interacción y el efecto de dichos flujos. Estas medidas fueron aplicadas en el caso del proceso de siembra y cosecha del café en el municipio de Pitalito en el Departamento del Huila, al suroccidente de Colombia, buscando con ello identificar los principios que hacen sostenible la práctica productiva de este sector. Los resultados mostraron un territorio dependiente de sus recursos autóctonos evidenciando un patrón de insostenibilidad en el largo plazo; para el cafeto se encontró una alta dependencia del cultivo con las condiciones sociales, ambientales y tecnológicas existentes y sobretodo la existencia de estrategias de producción diferenciadas entre los mismos productores. A partir de esto el análisis de los resultados permitió formular seis principios básicos de sostenibilidad para la relación ETD en los procesos asociados al café, de manera que, basados en la eficiencia energética, en cada caso se pueda alcanzar el máximo aprovechamiento de los recursos naturales, el mínimo uso de recursos importados y no renovables, así como la máxima productividad y el mínimo impacto ambiental asociado.

ABSTRACT

Energy is a fundamental element of development in the territories and in this context, the efficient management of this resource is a key factor for sustainability; however, in practice, energy efficiency has been assumed exclusively as the measurement of technical indicators of productivity and profitability based on the quantification of the use of traditional carriers (renewable and non-renewable), obviating the energy contribution of nature in the different existing processes in the territory. With the aim of obtaining a more complete vision of the systems under study from the focus of the relationship between energy, territory and development, this project integrates energy synthesis as a means of assessing the different energy flows existing in the territory and Data Envelopment Analysis as a tool that allows the evaluation of energy efficiency taking into account the interaction and the effect of these flows. These measures were applied in the case of the process of sowing and harvesting coffee in the municipality of Pitalito in the Department of Huila, in southwestern Colombia, seeking to identify the principles that make the productive practice of this sector sustainable. The results showed a territory dependent on its native resources, showing a pattern of unsustainability in the long term; For the coffee tree, a high dependence on the crop was found with the existing social, environmental and technological conditions and, above all, the existence of differentiated production strategies among the producers themselves. From this, the analysis of the results allowed to formulate six basic principles of sustainability for the ETD relationship in the processes associated with coffee, so that, based on energy efficiency, in each case the maximum use of natural resources can be achieved , the minimum use of imported and non-renewable resources, as well as the maximum productivity and the minimum associated environmental impact.

INTRODUCCION

Energía, Territorio y Desarrollo (ETD) son términos que están relacionados entre si y que se vinculan de manera estrecha con la sostenibilidad; sin embargo, pares relacionados como (Energía-Territorio, Energía-Desarrollo y Territorio-Desarrollo) muestran una gran cantidad de productos de investigación y se encuentran en crecimiento, mientras que el análisis conjunto de estos tres elementos evidencia muy pocos trabajos concentrados en una evaluación integrada.

Los capítulos 1, 2 y 3 forman parte de los elementos teóricos que dan soporte al diseño de esta investigación. En particular el capítulo 2 o marco teórico fue construido con una doble intención, la primera dar soporte a los elementos teóricos que sustentan este trabajo y la segunda, explorar las tendencias, los patrones y la dinámica de la investigación conjunta en el campo de la ETD. Los resultados de este capítulo mediante un proceso de análisis cuantitativo deben permitir identificar si la eficiencia energética y la gestión de los impactos ambientales negativos son factores claves del proceso de integración de la ETD en el marco de la sostenibilidad, al tiempo que deben hacer visibles las herramientas de síntesis energética y el análisis envolvente de datos como soporte a la evaluación cualitativa y cuantitativa de esta investigación.

El capítulo 4 se enfoca en la síntesis energética del municipio de Pitalito, el cual se realizó con la intención de explorar las dinámicas de uso, los procesos de generación y las acciones de gestión y aprovechamiento de los recursos en el territorio mediante la aplicación de una medida homogénea y estandarizada que permitiera evaluar adicionalmente su sostenibilidad.

El capítulo 5 se centra en la aplicación de un proceso de síntesis energética en una muestra de 90 territorios productivos en el municipio de Pitalito, cuyos resultados deben permitir la identificación de los valores de las entradas y salidas principales en el manejo, mantenimiento, cosecha y procesamiento del café a los cuales se aplicará una evaluación de eficiencia mediante el análisis envolvente de datos, identificando unidades territoriales Pareto eficientes y una serie de factores comunes que fortalezcan el análisis posterior.

Por último en el capítulo 6, se exploran las posibles estrategias de gestión y eficiencia energética para el desarrollo sostenible de los territorios, basado en los principios de adaptación, aprovechamiento, conservación, recuperación gestión e información y

conocimiento. A partir de esto, se muestran las conclusiones del estudio, basadas en los elementos encontrados e identificados en cada una de las etapas de su ejecución.

CAPÍTULO 1: DISEÑO TEÓRICO

1.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA

La energización de los territorios favorece el acceso a tecnologías para la educación, la salud, la potabilización de agua, la alimentación y la producción en las comunidades, dejando clara su importancia como factor de sostenibilidad (Pardo, 2015) y desarrollo (Chian, 2014), al punto en que algunos modelos definen este como un resultado explicado por el consumo energético (Golusin, Dodić y Popov, 2013). Así, en el marco de los objetivos globales de desarrollo sostenible, la Organización de las Naciones Unidas (UN) propone para el año 2030 garantizar el acceso de la población mundial a servicios de energía, incrementar la participación de las energías renovables en la matriz energética mundial, aumentar la colaboración internacional para facilitar el acceso a procesos de investigación y desarrollo en tecnologías energéticas limpias y ampliar la infraestructura para la prestación de servicios energéticos modernos y sostenibles principalmente en países en desarrollo (Organización de las Naciones Unidas [UN], 2015).

Es claro entonces el papel de la energía como agente clave en las dinámicas sociales, dinamizadora de los procesos del territorio y componente fundamental del desarrollo sostenible; sin embargo, existe en torno al tema una creciente preocupación por los dilemas y problemas ambientales asociados a los vectores energéticos tradicionales (Golusin y otros, 2013) y al uso de los recursos como la tierra, la localización geográfica de los territorios y la tecnología (Troy, 2014), con lo cual, no solo existe interés por sus beneficios, sino también por los impactos negativos en la interacción entre los procesos de generación y uso de la energía sobre el medio ambiente, haciendo necesaria la búsqueda de soluciones tecnológicas acordes con una dinámica de desarrollo sostenible que minimice los impactos sin influir sobre los estándares sociales, económicos, productivos y tecnológicos actuales (Romo, Fernández, Guerrero y Moya, 2012).

La tendencia en investigación en el campo energético, incluye - aunque no se limita a - el análisis de procesos asociados a la ineficiencia en las etapas de generación y transmisión y la preocupación creciente en la comunidad científica por el uso de fuentes renovables y no convencionales de energía aprovechando los potenciales de las mismas (Romo y otros, 2012). Igualmente existe una tendencia enfocada en la gestión y la eficiencia

energética como aspectos claves para la disminución de los impactos (Hanley, McGregor, Swales y Turner, 2009).

El estudio del cambio técnico asociado a la eficiencia energética se ha vinculado como un elemento de desarrollo en el territorio (Turner y Hanley, 2011) y que esta vinculada a la planeación y generación de políticas integrales en el territorio, su gestión, su dinámica y particularidades puede favorecer las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo (Hanley y otros, 2009; Troy, 2014), siendo la eficiencia en esta línea un enfoque basado en el uso de los recursos disponibles en el territorio para la consecución de los objetivos planteados en el marco de la sostenibilidad.

El concepto de energía, sin embargo, va más allá de la cuantificación de los portadores energéticos, tanto tradicionales (Petróleo, carbón, gas) como renovables (sol, viento, agua), que han mantenido el enfoque tradicional de estudio en la relación entre energía y desarrollo. Es necesaria la medición y cuantificación de la totalidad de flujos que interactúan en los procesos económicos, sociales y productivos, incluyendo aquellos energéticos libres aportados por la naturaleza, como por ejemplo la fotosíntesis y los procesos geobiofísicos, ya que sin estos flujos en consideración, el análisis de la interacción entre los sistemas territoriales y los procesos productivos no estaría completo por cuanto solo evidenciaría resultados económicos sin asumir los efectos ambientales y la dinámica de sostenibilidad del territorio (Odum, 1996; Jordan, 2013; Troy, 2014).

Ante las interacciones planteadas, lograr el desarrollo del territorio requiere modelos de planeación y toma de decisiones que ayuden a dinamizar de manera integrada la interrelación entre Energía y Desarrollo en el mismo, por lo cual son necesarios mecanismos de evaluación y valoración que permitan expresar juicios objetivos y comprensivos sobre la situación y el contexto del territorio y sus escenarios de desarrollo futuro (Bandini y otros, 2011). La planeación energética integrada favorece la búsqueda de soluciones ambientalmente amigables, socialmente aceptables y costo-efectivas en el territorio, requiriendo este proceso de la integración de métodos, herramientas y medidas objetivas (Mirakyan y De Guio, 2013) mediante la aplicación de métodos cuantitativos para la modelación del territorio en función del potencial y las particularidades del mismo (Vega, Glaus, Hausler, Oropeza y Romero, 2013).

Con base en todo lo anterior, esta investigación, se basa en la necesidad de establecer criterios de medida objetivos que favorezcan el análisis de los sistemas que integran la energía (y la eficiencia), el desarrollo y el territorio, y además, conocer en qué medida estos determinan la sostenibilidad, lo que sustenta la formulación de las preguntas planteadas.

1.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACION

¿De qué manera la interrelación entre Energía y Territorio actúa como determinante del desarrollo sostenible?

¿Cómo la integración de la energía y el territorio en un modelo sistémico permite determinar los resultados positivos del desarrollo sostenible y minimizar los efectos negativos de los sistemas humanos, tecnológicos y productivos sobre los naturales?

1.3. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El uso de la energía en las comunidades ha sido entendido como el mayor conductor de cambios antropogénicos ligados al cambio climático (Howard y otros, 2013) y es por esto que las políticas energéticas aportan a la mejora de la sustentabilidad del desarrollo (Comisión Económica para América Latina [CEPAL], 2011). Siendo entonces la energía un agente dinamizador, un factor causal y una dimensión fundamental del desarrollo sostenible (Toman y Jemelkova, 2002; Johanson, 2009) cuya importancia e impacto se han hecho explícitas principalmente a partir de las discusiones que dieron soporte a las declaraciones sobre medio ambiente y desarrollo sostenible y más recientemente de la formulación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio - 2015 (ODM) (Jankilevich, 2003) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible - 2030 (UN, 2015).

En este contexto se ha concluido que los retos principales para la transformación de los sistemas energéticos en el marco del desarrollo sostenible se han definido en tres escenarios: Energías renovables, uso eficiente de la energía y la captura y almacenamiento de carbono (Johansson, 2009). Así, en los últimos años se ha marcado la importancia y relevancia de las energías renovables como un componente fundamental de la dinámica de crecimiento económico, superación de la pobreza y desarrollo

sostenible (Jankilevich, 2003) y de igual forma, el entendimiento y la práctica de la gestión y la eficiencia energética entendida como una fuente de desarrollo y una estrategia de solución a los impactos ambientales negativos del uso y el consumo de las fuentes energéticas convencionales (Dincer y Rosen, 2013) aunque en la práctica la investigación y el enfoque de la eficiencia energética se han dirigido principalmente al análisis independiente de procesos en cada una de las dimensiones de uso de la misma desde un enfoque técnico (Cambio técnico, tecnologías eficientes, procesos y productos) y con una menor profundidad en otros campos (educativo, político, etc) (Haydt, Leal y Diaz, 2013).

Una revisión realizada en el año 2014 arrojó como resultado que en los últimos 10 años se publicaron 1.050 trabajos relacionados con la eficiencia energética y el desarrollo sostenible y más del 66% de los mismos se enfocan en temas particulares de aplicación técnica del concepto a problemas específicos como edificaciones, transporte, procesos, entre otros. Sin embargo, algunos autores coinciden en resaltar la ausencia de modelos particulares de análisis que permitan integrar todas las dimensiones de uso y consumo de la energía dentro de modelos basados en poblaciones (Yamaguchi, Shimoda y Mizuno, 2007) cuya estructura, demanda, y utilización de la energía constituye el núcleo potencial de reducción del consumo y minimización del impacto en sus actividades, siendo clara la necesidad de un proceso integrador, que de esta manera se pueda obtener una visión más amplia de su dinámica en el ámbito de las comunidades.

Para Jaccard (1997) la planeación energética de las comunidades se basa en tres tendencias: El rol crítico de las infraestructuras y el uso de la tierra en el consumo de energía, el creciente entendimiento del impacto ambiental del consumo de energía y el potencial ambiental de las nuevas tecnologías energéticas en las comunidades, por lo cual, la combinación de los conceptos de planeación con herramientas de gestión energética y eficiencia, brindan una oportunidad importante para la integración de soluciones y la planeación de estrategias en todos los niveles territoriales¹ (global, regional, local), favoreciendo la atención conjunta de los múltiples procesos que integran

¹ A partir de la definición de territorio como un espacio, se entiende en este trabajo que los niveles territoriales se vinculan con el tamaño del espacio analizado en los niveles global, regional o local. Igualmente, con el entendimiento de territorio como algo mayor al espacio donde confluyen además grupos de interés y su intencionalidad, los niveles utilizados en este estudio corresponden a municipio y fincas productoras

la energía, el territorio y las comunidades. Así, estos sistemas energéticos integrados permiten enfrentar los retos ambientales principales, como el calentamiento global, el cambio climático y la pobreza extrema (Mendes, Ioakimidis y Ferrao, 2011).

La triple relación entre energía, territorio y desarrollo (ETD), en su concepción histórica, ha involucrado entre otros, retos relacionados con el riesgo financiero de las inversiones en energía, la seguridad en el suministro, la minimización de costos de inversión y el impacto de la creación de plantas de generación y sistemas de distribución así como la relación entre las fuentes de energía y el impacto sobre el medio ambiente medido principalmente a partir de las emisiones de CO₂ y su efecto en el cambio climático (Haydt y otros, 2013). La evolución científica en el análisis de la relación ETD ha probado requerir de un modelo de valoración ambiental que permita obtener medidas objetivas del potencial, el uso y la eficiencia energética en el territorio donde el campo de la energética brinda una aproximación práctica razonable (Odum, 1996) en la medida en que favorece la valoración objetiva de los servicios ecosistémicos en el territorio considerando la totalidad de flujos energéticos existentes (Bandini y otros, 2011). Así mismo, la medición de la eficiencia mediante modelos matemáticos comparativos como el análisis envolvente de datos permite determinar conjuntamente estrategias de maximización de los resultados productivos, técnicos y económicos y la minimización de los impactos negativos, aspectos claves en la dinámica de los sistemas ETD (Mardani y otros, 2017).

1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Esta investigación se fundamenta en el efecto de la eficiencia energética en el desarrollo sostenible a partir de la valoración de los recursos y los impactos de estos en el territorio y las comunidades. Esta propuesta se justifica en tres partes: interés, novedad y utilidad las cuales se describen a continuación.

1.4.1. Interés

El análisis de las relaciones entre Energía, Territorio y Desarrollo (ETD) a nivel teórico ha demostrado un alto grado de relación con el desarrollo sostenible, para Dincer y Zamfirescu (2014) existen seis pilares fundamentales que sustentan la relación entre

energía y desarrollo: eficiencia, costo-efectividad, uso de recursos, diseño y análisis, seguridad energética y ambiente. Así mismo, la disminución de emisiones y la implementación de tecnologías limpias tales como la utilización de fuentes renovables de energía se han convertido en uno de los principales elementos estudiados para los países en desarrollo (Karakosta y Askounis, 2010). En cuanto a territorio se aprecian tres elementos dominantes: la planeación espacial y su relación con los sistemas energéticos (Blaschke, Biberacher, Gadocha y Schardinger, 2013), la relación entre los sistemas energéticos y los servicios ecosistémicos en el territorio (Howard y otros, 2013) y el consumo de energía y la eficiencia energética (Wang, 2014)

El estudio de la producción científica relacionada con esta propuesta en el marco de la ETD ha permitido establecer tendencias dominantes pero independientes en las diferentes interrelaciones temáticas (Energía-Desarrollo, Energía-Territorio, Territorio-Desarrollo) en torno a la dinámica de la sostenibilidad, la gestión del territorio y los diferentes impactos sociales, económicos, tecnológicos y ambientales, siendo un elemento central del interés, el lograr la evaluación integrada de estas dimensiones. Es por esto que esta investigación pretende aproximarse al problema de la ETD desde el abordaje de los siguientes elementos:

- Comprender de manera interdisciplinaria las interrelaciones entre ETD (Individuales y en conjunto);
- Desarrollar un modelo de medición que permita la evaluación de las interrelaciones entre los diferentes elementos de la ETD para la comprensión, la gestión y la planeación de los territorios con base en criterios objetivos de medida;
- Explorar la dinámica, y los impactos de la relación ETD en términos de las diferentes dimensiones de la sostenibilidad (social, tecnológica, ambiental y económica).

1.4.2. Novedad

En el campo energético se encuentra un gran número de estudios relacionados con el uso de fuentes renovables para la generación de energía, sin embargo en la práctica, los proyectos de implementación en países en desarrollo han encontrado limitaciones

asociadas con las particularidades propias de los territorios y las comunidades beneficiarias, por lo cual, el ritmo de difusión y la velocidad de adaptación en estos procesos no ha tenido el impacto previsto (Ockwell y otros, 2007).

El análisis de la teoría y los casos de estudio aplicados a la eficiencia energética, ha permitido generar un profundo conocimiento de acciones particulares enfocadas principalmente en el desarrollo de conocimiento, herramientas y aplicaciones para procesos individuales, principalmente en los campos de la industria, el transporte y la construcción de edificaciones (Mirakyan y De Guio, 2013). No se evidenció una aproximación analítica que permita explorar el impacto de la eficiencia energética a nivel territorial y dentro de sus diferentes prácticas y los resultados actuales en este campo se centran en comunidades con un grado de desarrollo y un contexto muy particular que limita las posibilidades de aplicación para pequeñas comunidades y territorios.

Así, el trabajo en su aproximación metodológica y con el objetivo de alcanzar un análisis integrado que permita explorar las dimensiones del Territorio, la Energía y el Desarrollo como un solo elemento complejo y dinámico, pretende integrar conceptos y herramientas derivados del campo de la energética (Odum, 1996) y el análisis envolvente de datos (Mardani y otros, 2017) para la medida de los flujos energéticos totales en los procesos existentes en el territorio y la evaluación de la eficiencia en los mismos, buscando con ello:

“Desarrollar una visión integrada del problema de la gestión de la energía, el territorio y el desarrollo bajo un criterio de eficiencia energética que permita maximizar los resultados productivos esperados e impacte en la sostenibilidad del territorio.”

1.4.3. Utilidad

A partir de los efectos productivos, sociales, económicos, tecnológicos y ambientales en las comunidades y a partir de los postulados planteados en las secciones anteriores, los resultados de esta investigación, basados en la combinación del interés y la novedad del enfoque, permiten identificar las siguientes relaciones de utilidad:

- Profundizar en el conocimiento de las interrelaciones entre sistemas energéticos, ecológicos y humanos, identificando los principios claves para su sostenibilidad a partir de mecanismos objetivos de evaluación que permitan cuantificar su aporte al desarrollo de los territorios;
- Aportar herramientas que permitan evaluar y minimizar el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente en términos de sus emisiones y a partir del entendimiento y la toma de decisiones derivadas del análisis de las interrelaciones en la planeación y ejecución de actividades en el campo de la ETD.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. General

Explorar los efectos de la oferta energética en el territorio y su gestión a partir de la valoración de los recursos y los impactos de su uso, en el marco de un modelo que favorezca su planeación y desarrollo sostenible.

1.5.2. Específicos

- Describir la dimensión, naturaleza y composición de la energía en torno a la dinámica de su oferta, generación, uso y aprovechamiento en los territorios y el destino final de la misma;
- Establecer las condiciones necesarias para la identificación de procesos eficientes para el aprovechamiento de la energía disponible y su gestión en el corto, mediano y largo plazo;
- Definir principios de planeación para el desarrollo sostenible del territorio a partir de la gestión y eficiencia en la demanda de servicios ecosistémicos y perfiles territoriales.

1.6. HIPÓTESIS, SUPUESTOS Y VARIABLES

La presente es una investigación de tipo teórico-metodológico y por tanto se ha formulado una hipótesis y varios supuestos cuya naturaleza es teleológica y procesal. La hipótesis general es la siguiente:

“Incrementar la eficiencia energética contribuye de manera positiva con el nivel de desarrollo de los territorios y favorece su sostenibilidad permitiendo maximizar la productividad y minimizar los efectos negativos de las actividades desarrolladas”

Dada la naturaleza de esta hipótesis, su contraste se realiza con base en criterios eficacia, utilidad y saturación de la información (Vara, 2010). Tomando en cuenta los siguientes elementos para el análisis:

- La evaluación cuantitativa de la interrelación entre ETD, favorece la formulación objetiva y estratégica de escenarios y la toma de decisiones;
- La energía disponible en un territorio, independiente de sus condiciones particulares será superior a la demanda total del mismo; sin embargo, dadas las condiciones propias del territorio, su estructura social, económica, productiva, tecnológica y ambiental, el aprovechamiento óptimo de la misma no será posible.

Así mismo para el alcance de los objetivos se toman como base los elementos teóricos que dan sustento a los campos de energía para el análisis y evaluación de los flujos energéticos y el análisis envolvente de datos para el cálculo de su eficiencia, por esta razón se toman como base los siguientes supuestos para el análisis:

- El desarrollo sostenible del territorio se ensambla con los ingresos de energía, que es transformada para soportar la disponibilidad de bienes y servicios que son requeridos para suplir las necesidades básicas y el bienestar de la población en crecimiento;
- La gestión energética tiene el potencial de incorporar las interrelaciones entre el territorio, los sistemas productivos y sociales en consonancia con el desarrollo sostenible.

1.6.1. Variables del estudio

Se pretende entender las interconexiones entre ETD, analizando cómo los factores propios de cada una de estas dimensiones al ser dinámicos, variados e interrelacionados afectan la sostenibilidad de las comunidades y su bienestar. Para esto, con base en los campos teóricos identificados y la hipótesis propuesta se analizará el incremento de la eficiencia energética medido a partir de los potenciales de reducción en el consumo de los diferentes flujos energéticos involucrados en el proceso productivo estudiado (Definidos como renovables, no renovables e importados de acuerdo a Odum (1996)) y su efecto directo en la producción, el índice de sostenibilidad energética ambiental de cada territorio, que representa el nivel de sostenibilidad en el largo plazo para los territorios con base en el rendimiento y la carga ambiental existentes (Guan y otros, 2016) y las emisiones de CO₂ que representan una medida de los impactos ambientales de los procesos a partir de la valoración de las emisiones equivalentes según las fuentes naturales y antropogénicas (Haydt Leal y Dias, 2013) en los procesos estudiados. Para lograr esto se analizarán las siguientes variables:

- Emergía y flujos energéticos;
 - o Flujos energéticos Renovables (R)
 - o Flujos energéticos no renovables (N)
 - o Flujos energéticos importados (F)
 - o Emergía total usada por el sistema (U)
- Demanda energética;
- Índice de sostenibilidad ambiental
- Emisiones de CO₂;
- Eficiencia energética.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACION TEORICA

Esta revisión se compone de dos partes, la primera analiza la producción científica relacionada con el objeto de estudio de esta investigación: la relación entre Energía, Territorio y Desarrollo (ETD). Como resultado se identificaron la eficiencia energética y los impactos ambientales como elementos claves y determinantes de la relación ETD y la sostenibilidad. En segundo término, se describen estos elementos como complemento al desarrollo teórico de las relaciones ETD y su operacionalización.

2.1. INTERRELACIONES ENERGÍA-TERRITORIO-DESARROLLO (ETD): ANÁLISIS DE TENDENCIAS Y ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

2.1.1. Definiciones

Territorio

La búsqueda del término “*territory*” arrojó 110.536 resultados en título, resumen y palabras claves, con una frecuencia de aparición en 87.795 artículos científicos representando el 79% de los documentos que referencian el término. Los primeros documentos reseñados datan de la década de 1820 y se relacionan con la distribución de minerales y especies animales en un área particular, usando la definición de **territorio** como una porción de la tierra². En la Figura 1 se muestra la amplia utilización del término en diversas áreas, principalmente en medicina, con una frecuencia relativa cercana al 16% del total de usos. Se destaca, por el interés y el campo de aplicación de este estudio, la frecuencia relativa acumulada por las áreas de ciencias sociales, agricultura y ciencias biológicas, ciencias de la tierra y ciencias ambientales, que representan el 48% del total de usos del término.

Como los resultados obtenidos muestran el uso del término en áreas que no tienen relación con el interés de este trabajo, se realizó una segunda delimitación, extrayendo una muestra de 3.160 publicaciones vinculadas al campo de las ciencias sociales, agricultura y ciencias biológicas, ciencias de la tierra y ciencias ambientales, en las cuales

² No se referencian estos trabajos en la bibliografía, dado que no se toma su contenido para el soporte del análisis o conclusiones, sin embargo, se considera necesario mostrarlos como evidencia de la afirmación relacionada:

- Notice of new Localities of simple Minerals, along the north coast of Lake Superior, and in the Indian Territory NW. from Lake Superior to the river Winnepec.
- Description of a new species of Grosbeak, inhabiting the Northwestern Territory of the United States.

los autores definieron “territorio” como palabra clave en su análisis; a partir de ellas se identificaron cuatro campos principales de estudio:

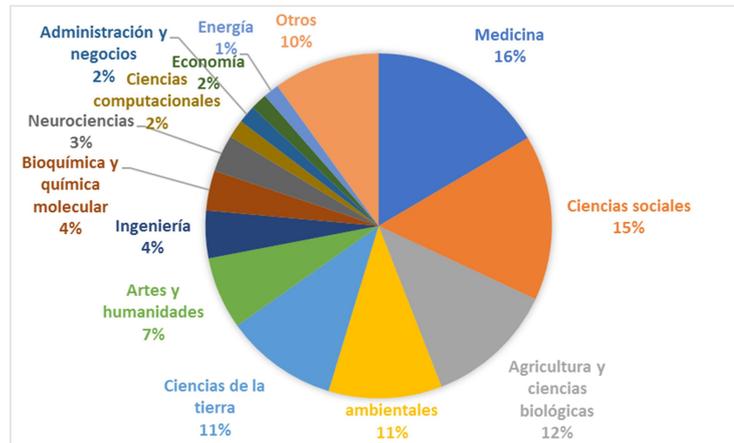


Figura 1. Distribución porcentual de documentos con el término “territory”. Fuente: Elaborado con base en resultados obtenidos de Scopus

- Seres vivos: excluyendo a los seres humanos, que ocupan una categoría particular; en esta área se clasifican 32% de los trabajos que vinculan el territorio con el estudio de patrones de comportamiento, supervivencia y existencia de especies de plantas y animales.
- Seres humanos: con un 23% de los trabajos identificados, fue posible encontrar estudios que vinculan el territorio con la dinámica, la existencia y el desarrollo de los seres humanos en comunidad, incluyendo política, economía, gestión, y aspectos ambientales, sociales y culturales de la población.
- Localización geográfica: un 21% de los trabajos analizados muestra que la localización geográfica y el emplazamiento hacen parte importante de la descripción del territorio, planteando particularidades que permiten no solo identificar elementos únicos en su configuración, sino también contrastes entre diferentes áreas.
- Otros: El 24% restante no se enfoca o concentra en una definición particular, utilizando el término **territorio**, de manera indistinta, combinando en ocasiones el enfoque de las tres áreas definidas.

El uso de “territorio” en la literatura científica analizada deja en claro la vinculación de su significado con el estudio de espacios y escenarios geográficos particulares, cuyos límites se definen por condiciones políticas, económicas, sociales, culturales o comportamentales. El territorio en esta línea de discusión es una construcción social que se realiza en un espacio determinado y, por tanto, involucra las personas, los recursos y las interrelaciones existentes en él (Saquet, 2015).

En la búsqueda de una definición particular del término se aprecian una serie de características comunes en un intento por simplificar y estandarizar tanto el significado como sus acepciones. El Banco de la República de Colombia (2015) lo define como “una parte de la superficie del mundo que pertenece a una nación”, coincidiendo con la definición proporcionada por la Real Academia Española de la Lengua – RAE – que ubica el origen de la palabra en el latín *territorium*, y cuya definición implica igualmente una porción de tierra (del planeta) con pertenencia a una “nación, región, provincia, etc.” (RAE, 2016). Levy (2011), plantea la existencia de un origen etimológico común que incluye la existencia de una raíz similar en diferentes idiomas, por ejemplo: *territoire* (francés), territorio (italiano), *território* (portugués), *territory* (inglés), *Territorium* (alemán); cuyo origen principalmente es atribuido a la derivación del concepto latino de *Terra* (Elden, 2011). Sin embargo, pese al origen y la existencia de lo que parece ser un término homogéneo, al analizar la literatura científica relacionada directamente con su significado existe un claro disenso: para Gottmann (1973), a pesar del uso extensivo del “territorio” como palabra clave, era muy poca la reflexión en torno a su significado; de la misma manera, otros autores plantean la existencia de una pobre teorización del mismo (Painter, 2010).

En adición a las definiciones presentadas, Altschuler (2013, p. 65) incorpora la multidimensionalidad del término, o “la posibilidad de abordarlo desde varias y diversas perspectivas”, el espacio, la soberanía, el poder ejercido sobre un espacio determinado, la existencia de relaciones sociales definidas, condiciones culturales, económicas, tecnológicas e incluso ambientales, proceso de cambio y control, entre otras características que serán analizadas en detalle en las secciones siguientes sobre la relación particular del territorio con la energía y el desarrollo.

Elden (2010) identifica al menos dos significados para el término a partir de una revisión de la literatura científica producida en el campo de la geografía; Amorós (2014) sugiere la existencia de múltiples definiciones según el campo de estudio en que es referenciado, citando al menos siete (7) significados diferentes, al tiempo que Levy (2011) identifica ocho (8) y propone una adicional, con base en el propósito de su uso. En la Tabla 1 se muestra el resumen de las principales definiciones identificadas.

Tabla 1. Definiciones de territorio identificadas en la literatura.

Referencia	Enfoque	Definición y Características
(Gottmann, 1973. P. 5)	Geografía	“Una porción de espacio definida por un sistema de leyes y unidad (gubernamental)” Sus funciones cambian en el tiempo y son determinadas por los grupos sociales que lo habitan
(Quan & Nelson, 2005)	Interdisciplinario	Las principales nociones del territorio incluyen: Definiciones espaciales - políticas: Territorio como un espacio limitado Geográficas y antropológicas: Espacio de identidad social y cultural Económicas: Mercado y procesos de producción en un área particular
(Amorós, 2014)	Diversos campos	Una construcción social e histórica, definida en y por el tiempo La definición del territorio es influenciada por los intereses particulares de quien la define, principalmente político-económicos Existen definiciones identificadas por el autor en las áreas de: Urbanismo, Política y desarrollo, Planeación, Estrategia, Ecologismo, Ciencia, Gestión
(Elden, 2010)	Geografía	Parecen existir dos definiciones dominantes en la literatura, que no son mutuamente excluyentes: Un espacio limitado bajo control Un resultado de la territorialidad bien sea por el comportamiento humano o estrategia
(Levy, 2011)	Geografía	En la definición del territorio, Levy reconoce la existencia de nueve diferentes concepciones, de acuerdo con su utilidad-propósito en: - Sin significado especial - Sinónimo de espacio - Sinónimo de “espacio local” - Sinónimo de “espacio inhabitado” - Espacio controlado y limitado - Metáfora de los estudios animales, aplicado a la organización humana del territorio - Espacio apropiado - Un momento en la historia de las ideas
(Saquet, 2015)	Geografía, Filosofía	El territorio es el resultado del proceso de producción del y en el espacio cuya construcción se realiza socialmente
(Painter, 2010)	Geografía política	El territorio debe ser entendido como un efecto, y como tal es el resultado de las interacciones dadas por las prácticas socio-técnicas que se dan en el espacio
(Sassen, 2013)	Geo-economía/Geopolítica	La definición del territorio está más allá del espacio e involucra conceptos de capacidad, poder, reivindicación, conjuntos organizativos complejos, autoridad y derechos

Desarrollo

La etimología del término lo define como una acción y un efecto que, vinculado con el campo económico, representa la evolución de una economía hacia mejores niveles de

vida (RAE, 2017). Desarrollo es un término usado en al menos 1.400.000 publicaciones científicas desde 1894, cuando se tiene la primera referencia en Scopus, siendo su principal aplicación en las áreas de la psicología y la conducta; sin embargo, en torno al campo de interés de este trabajo, que involucra el uso del término en las dimensiones social, económica y política, su origen se ubica en la literatura en los años 40, después de la formación de las Naciones Unidas, y como parte de las estrategias de crecimiento nacionales en el periodo de la posguerra (Boisier, 2001). El desarrollo, como un problema económico, político y social, puede considerarse como un elemento universal, que se encuentra más allá de las limitaciones geográficas, sociales, culturales o temporales (Bertoni y otros, 2011), pero vinculado con el momento histórico, el territorio, las convicciones, el modelo de pensamiento y los deseos de cada grupo que lo persigue como meta, siendo entonces un término dinámico que imposibilita una visión agrupadora e integradora de su definición en la escala de la evolución humana (Dubois, s.f.).

Diversos autores coinciden en que este término evolucionó³ a partir de su uso como un sinónimo particular de crecimiento económico, medido como el incremento (agregado) del ingreso en la sociedad, tendencia que mantuvo durante las décadas de los años 40 a 70 (Boisier, 2001; Altschuler, 2013), hasta la aparición del trabajo de Seers, que desliga el desarrollo del crecimiento, integrando un conjunto de necesidades básicas medidas en las dimensiones de alimentación, empleo y equidad (Boisier, 2001).

Calcagno (1990), en el análisis de la definición del desarrollo desde la CEPAL, en los años 90, plantea que este se refiere a “**procesos de crecimiento y de cambio** relacionados **sistemáticamente** y entre sí” (p 55), expresando “una **aspiración** por una **sociedad mejor**” (p 55), por lo cual, en su definición, desde aquella época se integran diferentes **dimensiones** (P.ej.: sociales, económicas, políticas, tecnológicas, etc.), las cuales configuran el **tipo de sociedad a la que se quiere llegar**. Segura (2014), citando a Carrillo, plantea que, a pesar de las diferencias conceptuales en la definición del desarrollo, existen puntos comunes que permiten conceptualizarlo como un “proceso que sucede en el tiempo y en el espacio, por el cual la sociedad mejora su calidad de vida” (p. 1).

³ La evolución histórica del concepto y los diversos cambios experimentados por el mismo corresponden a una extensa y detallada revisión que escapa al alcance y los propósitos de este trabajo. Para el análisis de estos elementos, el lector puede remitirse a los trabajos de Boisier (2001), Vásquez-Barquero (2007) o Altschuler (2013).

A partir de esta definición es posible resaltar algunos elementos, empezando con el proceso de crecimiento y de cambio; Rashid (s.f) plantea que para dar inicio a la definición es necesario establecer una distinción entre el desarrollo como un estado o condición estático y el desarrollo como un proceso dinámico de cambio. El desarrollo como **proceso** supone por sí mismo una serie de elementos: entradas, recursos, metas y, en particular como lo plantea Dower (1989), "... una realidad social con sus tendencias inherentes a la transformación - o sus resistencias a la misma – ya presentes" (p. 283). Al definir el desarrollo como un proceso, Sunkel y Paz (1970) explican que este es "**permanente y acumulativo** de cambio y transformación de la estructura económica y social" (p. 23). Angulo (2012) resalta el proceso como **deliberado**, lo que implica una intencionalidad en los planes y estrategias de desarrollo, así como complejo y específico, con recorridos individuales que no necesariamente pueden ser aplicados entre diferentes escenarios.

Frente al cambio, Bertoni y otros (2011) ejemplifican que el concepto de desarrollo supone un "proceso que habilita los cambios orientados a mejorar las condiciones de la vida humana" (p. 17), al tiempo que Veltmeyer (2010), en uno de sus apartes, lo muestra como un proceso de cambio a largo plazo, vinculado también con la evolución de las sociedades. Independientemente de la escuela y el estilo de desarrollo en que se pueda enmarcar cada definición existente, hay un grupo de elementos comunes:

- El desarrollo es un proceso dinámico e intencional que requiere la intervención de los grupos sociales vinculados.
- Todo proceso conlleva la consecución de unos resultados, los cuales, para el desarrollo, son fijados socialmente, con base en los intereses particulares de los actores involucrados; como plantea Veltmeyer (2010), es un asunto de acción basado en las ideas.
- Es permanente y acumulativo, lo que plantea que no existe una meta fija o un objetivo último y, por tanto, alcanzados unos resultados en el proceso, no se detiene, sino que se reinventa o redefine.
- El desarrollo, entendido en las dimensiones económica, social y política que delimitan este trabajo, es un proceso intencional de cambio enfocado en la mejora de las condiciones de vida y la evolución de los grupos de interés vinculados al proceso.

La complejidad y la influencia particular del tiempo y el entorno han redundado en la ausencia de unidad de criterio respecto a la definición del desarrollo. Calcagno (1990) plantea la existencia de diferentes estilos de desarrollo, los cuales se definen de acuerdo con los sistemas económicos dominantes y las estructuras sociales existentes en cada momento de su definición, o modelos de desarrollo definidos de acuerdo con las raíces de su origen y estructura de pensamiento dominante o incluso reformulaciones y adjetivaciones del concepto, como el desarrollo humano, el desarrollo rural integrado, desarrollo social, integral, sostenible, por citar solo algunos (Altschuler, 2013).

Es de interés particular, dirigir la discusión hacía la definición y los elementos de una adjetivación particular del concepto: el desarrollo sostenible, el cual configura su forma y enfoque a partir de los años 70, con la aparición del reporte Brundtland, que lo define como aquel que “satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las necesidades de las futuras” (WECD, 1987, p. 16), relacionándolo con un proceso de cambio que implica procesos de explotación de recursos, evolución tecnológica y modificación de instituciones, coordinados para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas. Para Naciones Unidas (2017), además de la definición conceptual proporcionada por el reporte Brundtland, añade que: “el concepto de desarrollo ha cambiado con los años y en la actualidad los países han acordado que el desarrollo sostenible, que fomenta la prosperidad y las oportunidades económicas, un mayor bienestar social y la protección del medio ambiente es el mejor camino por seguir para mejorar la vida de la población” (p. 1).

Energía

Etimológicamente, energía, como palabra, ha evolucionado en la adaptación de un concepto que ha sido aplicado en entornos tan diferentes como la Grecia antigua, la Roma Imperial, la Italia renacentista o la Inglaterra ilustrada, componiendo su significado de acuerdo al campo en que se define (metafísica, teología, ciencias básicas, filosofía) procediendo de la palabra griega *enargeia*⁴ (sinónimo de acción), popularizándose con la aparición de la termodinámica y generalizándose a partir de los principios de conservación

⁴ Pérez (2014) aclara que, aunque el origen del término es atribuido a la palabra *enargeia* acuñado por Aristóteles, un análisis más profundo permite identificar un origen anterior, proporcionando en su trabajo una interesante reflexión y estudio etimológico del término en su evolución histórica y significado.

y la evolución en las ciencias naturales (Pérez, 2014). Energía, como palabra clave, muestra la mayor frecuencia de aparición en bases de datos y publicaciones científicas, con un total de 3.644.926 documentos publicados entre 1841 y marzo de 2017⁵; sin embargo, la alta frecuencia de aparición del término dentro del entramado científico, al igual que en los casos anteriores, no significa que se esté utilizando de manera homogénea y definido bajo una única área de acción. En la Figura 2 se muestra la distribución relativa del uso del término por áreas de conocimiento en Scopus.

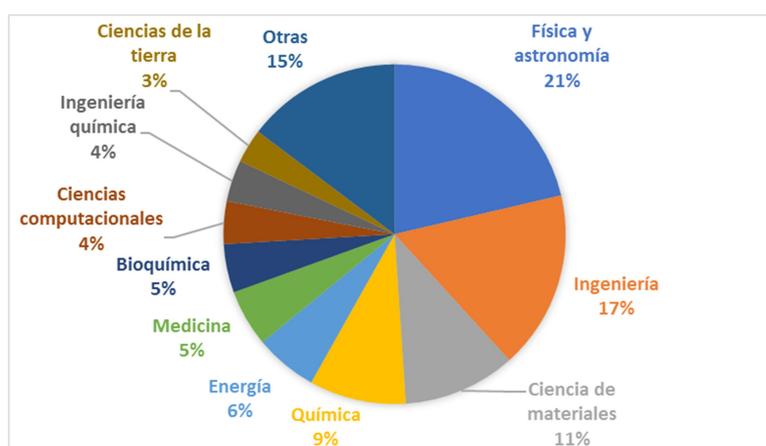


Figura 2. Área de estudio en documentos relacionados con “energy”. Fuente: Elaborado con base en resultados obtenidos en Scopus.

Tres áreas (física y astronomía, ingeniería y ciencia de materiales) agrupan cerca del 50% de los trabajos que relacionados con la energía; si bien, no es clara su aplicación, bien sea como concepto clave o aspecto metodológico según el campo de conocimiento en que es utilizado. Resalta un campo específico en Scopus para el tema energético (*energy*), el cual representa el 6% del total de producción, con una frecuencia acumulada de 358.273 artículos desde el año 1948.

Esta distribución de frecuencias en el uso del término confirma su importancia como un factor clave para la predicción y explicación de fenómenos en todas las áreas del

⁵ Aunque el trabajo de Pérez (2014) muestra la evolución técnica y el uso científico del término en literatura anterior a la fecha, es necesario dejar en claro las limitaciones de cubrimiento de los repositorios institucionales como Scopus, delimitando el análisis a los documentos encontrados e indexados por esta.

conocimiento, aunque tanto su utilización como significado varían de acuerdo con la disciplina en uso tal como lo postularon Eisenkraft y otros (2014). En la categoría “energy” los trabajos y autores más referenciados se distribuyen en diseños y aplicaciones para el uso de fuentes renovables de energía, en el área de ingeniería eléctrica y análisis de redes y sistemas de distribución y almacenamiento de energía; así mismo, entre los primeros autores, ordenados de acuerdo con el volumen de producción se destacan Ibrahim Dincer, de la Universidad de Ontario, que concentra su trabajo principalmente en el área de energía renovable y desarrollo sostenible, exergía, análisis económico y ambiental de los impactos de la energía, y Marco Rosen, de la misma institución, especializado en el diseño de sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables de energía.

El uso del término en la literatura científica lo vincula con una serie amplia de tópicos en diferentes campos del saber; energía es al mismo tiempo una idea central en la dinámica de análisis de muchas disciplinas, trascendiendo sus fronteras (Eisenkraft, y otros, 2014). A pesar de su amplio uso, no existe una idea clara de su significado (Coelho, 2009); por lo cual, de manera tradicional, la ciencia no llega a la comprensión del significado de la energía por definición, sino por la exploración de sus características, proceso en el cual se logran el entendimiento y el aprendizaje del término (Quinn, 2014). En la Tabla 2 se muestran algunos de los matices en la definición de energía, de acuerdo con diferentes campos del saber.

Tabla 2. Conceptualización y definiciones de “energía” en diversos campos.

Referencia	Disciplina	Definición/Características/Enfoque
(Eisenkraft, y otros, 2014)	Física	Energía se conserva durante la interacción entre partículas subatómicas La energía se “conserva”
	Ecología	La energía se transfiere entre las fronteras de un sistema La energía es “perdida” en los procesos de transferencia
	Química	La energía es “almacenada”
	Ciencias ambientales	La energía “fluye”
(Quinn, 2014)	Diversas disciplinas	Existen diversos términos comunes para la descripción de la energía Térmica Química Mecánica y eléctrica Flujos energéticos Nuclear
(Dauer y otros, 2014)	Biología, química y ciencias ambientales	La energía es una herramienta de análisis que se conserva a través de los cambios
(Duit, 2014)	Física	La energía es una cantidad clave en los sistemas, con la capacidad de realizar trabajo y generar cambios en los mismos.

		Existen cuatro ideas básicas en la comprensión de su significado: Transformación, Transferencia, Conservación, Degradación Estas ideas representan procesos claves en que se involucra la energía en los fenómenos
(Liu & Park, 2014)	Ciencias sociales	El aprendizaje de la definición de energía puede ser entendido a partir de su papel en los diferentes contextos en que se desarrolla: Cultural Social Político

2.1.2. Interrelaciones Energía-Territorio-Desarrollo (ETD)

Para definir ETD es necesario identificar los elementos de cada término que conforman las interrelaciones existentes entre estos, de acuerdo con el contexto de aplicación del presente trabajo, integrándolos de manera lógica y coherente; por lo tanto, este no es un ejercicio de conceptualización y lo que se propone, no es acuñar un nuevo término en cada dimensión ETD sino establecer los parámetros de unión secuencial de la dinámica ETD a partir de los términos analizados, así:

- El territorio es más que un espacio, vinculando el área geográfica, la pertenencia, el poder y la dinámica de los grupos sociales que lo componen;
- El desarrollo es el proceso de cambio (intencionado, acumulativo y dirigido) que se da en este territorio; y
- La energía es un elemento modulador que genera, favorece, dinamiza y posibilita los cambios.

En sus adjetivaciones particulares, el territorio, la energía y el desarrollo han aparecido vinculados en múltiples referencias científicas. Se muestra el análisis de uso de los términos por parejas de acuerdo con el planteamiento metodológico presentado, para identificar aspectos clave de cada relación de manera independiente. Posteriormente se realizó la evaluación conjunta de la producción científica enfocada en el estudio paralelo de la energía, el territorio y el desarrollo.

Relación Territorio-Desarrollo

La relación entre territorio y desarrollo como objeto de investigación, adolece de una clara interpretación y definición del significado de ambos términos, tanto de manera individual, como integrada, lo que conlleva a la ausencia de una crítica puntual en la manera en que estas están integradas (Altschuler, 2013). El territorio, complejo y heterogéneo por

definición, puede ser denominado como un factor de desarrollo, en cuya concepción se incluyen elementos tales como las características medioambientales particulares, los actores sociales y su dinámica, la existencia y el acceso a recursos estratégicos, entre otros factores (Albuquerque, 1995). En la Figura 3 se muestra la correlación temática en la producción científica que vincula los términos “territorio” y “desarrollo” como elementos claves del presente trabajo, mediante un árbol de vecindades en el cual se puede observar la existencia de 4 factores de agrupamiento temáticos.

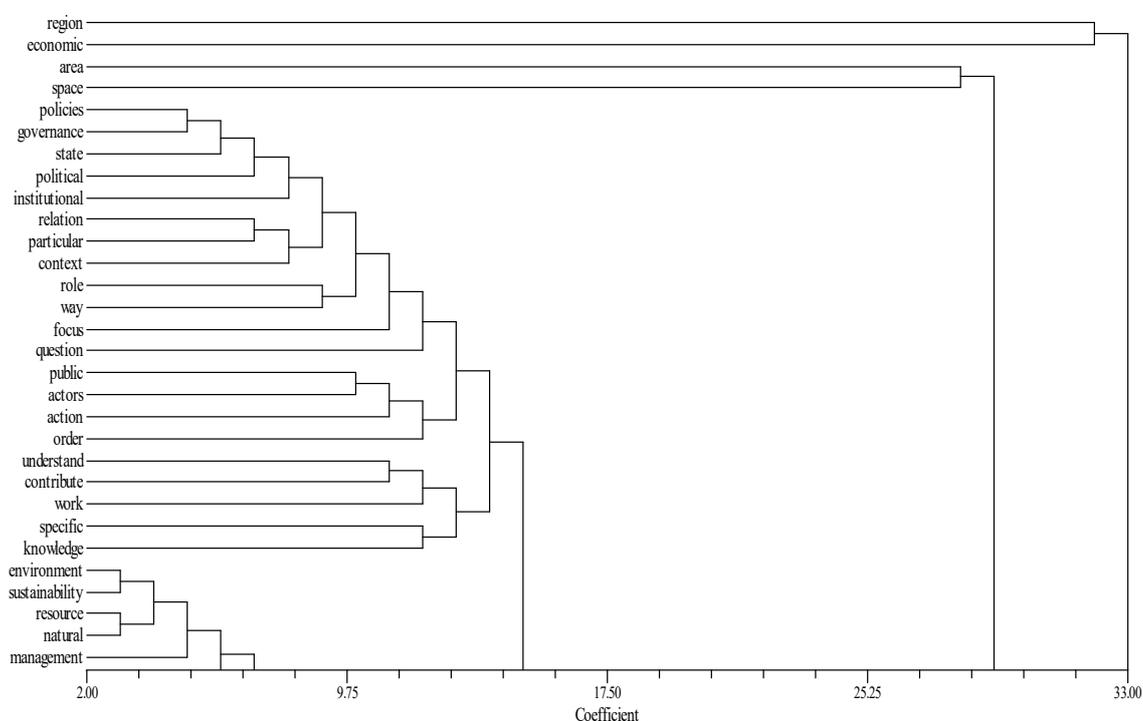


Figura 3. Árbol de vecindades de palabras clave en la relación Territorio-Desarrollo.

De arriba hacia abajo es posible notar que los dos primeros grupos, que además son integradores de la totalidad de términos, dan cuenta del enfoque de la relación analizada: “*region*”, “*economic*”, “*area*”, “*space*”, son las palabras claves que los conforman, dando cuenta de un enfoque donde el desarrollo es visto como un proceso económico y el territorio es entendido en primer lugar como un concepto de “espacio” o porción de área,

en diferentes niveles de organización política, según las definiciones más generales analizadas en los capítulos precedentes.

Los dos grupos restantes están conformados en primer lugar por un conjunto bastante denso de palabras donde se incluyen: *policies, governance, state, political, institutional, relation particular, context, role, way, focus, question, public, actors, action, order, understand, contribute, work, specific, knowledge*, términos que, en su relación y estructura, muestran los elementos claves participativos para la definición de la estrategia de desarrollo, integrando el gobierno, las personas y la dinámica particular de los territorios en el proceso que persigue un **cambio** de manera **intencionada** hacia un estado de **interés** para los grupos sociales existentes.

El último grupo es importante, puesto que aparece complementando una idea que ya se ha planteado anteriormente en este trabajo, y respaldando la evidencia existente del cambio de enfoque del desarrollo hacia una adjetivación particular que se convierte en la tendencia: el desarrollo sostenible. Con términos como *environment, sustainability, resource, natural y management*, se evidencia un aspecto dominante en la producción científica que integra el territorio y el desarrollo como dimensiones claves de su estudio, lo que permite demostrar la importancia de este enfoque en el planteamiento de soluciones y estrategias de desarrollo para los territorios.

Relación Territorio-Energía

Las funciones territoriales experimentan intensos procesos de transformación que moldean y modifican el territorio y sus interacciones con el ser humano. La energía es una fuerza transformadora y posibilitadora de esta dinámica de cambio (Requejo, 2011).

En la búsqueda de artículos se identificaron 234 trabajos que vinculan “Energía” y “Territorio” como palabras claves; en estos las mayores frecuencias fueron obtenidas por: *develop, area, region, system, economic, resource, environment, impact*, estando presentes entre el 20% y el 46% de los artículos estudiados. En el análisis previo de la relación Territorio-Desarrollo, la energía tuvo una frecuencia relativa de aparición de 2,8% de los trabajos analizados, lo cual no fue suficiente para ser analizado dentro del mapa de relaciones del tema. Sin embargo, en la relación **Territorio-Energía**, el Desarrollo fue un proceso clave e integrador entre estos conceptos. Este primer resultado muestra un

enfoque de desarrollo territorial en la relación entre energía y territorio. Un análisis más profundo de las temáticas aplicadas y el enfoque muestra la siguiente tendencia:

- El estudio de proyectos particulares de implementación de fuentes energéticas renovables (ejemplo, los trabajos de: Beaurain y Bérenger (2016), Mohd y Abdul (2016) o Gómez, (2016);
- Integración de las comunidades en las decisiones relacionadas con proyectos de energización. (Ejemplo: Fournis & Fortin (2016); Foran y otros (2016);
- Los procesos espaciales y políticos y los impactos vinculados con las transiciones energéticas (McEwan, 2017; Arrese y Blanco, 2016; Shkarlet y otros, 2015).

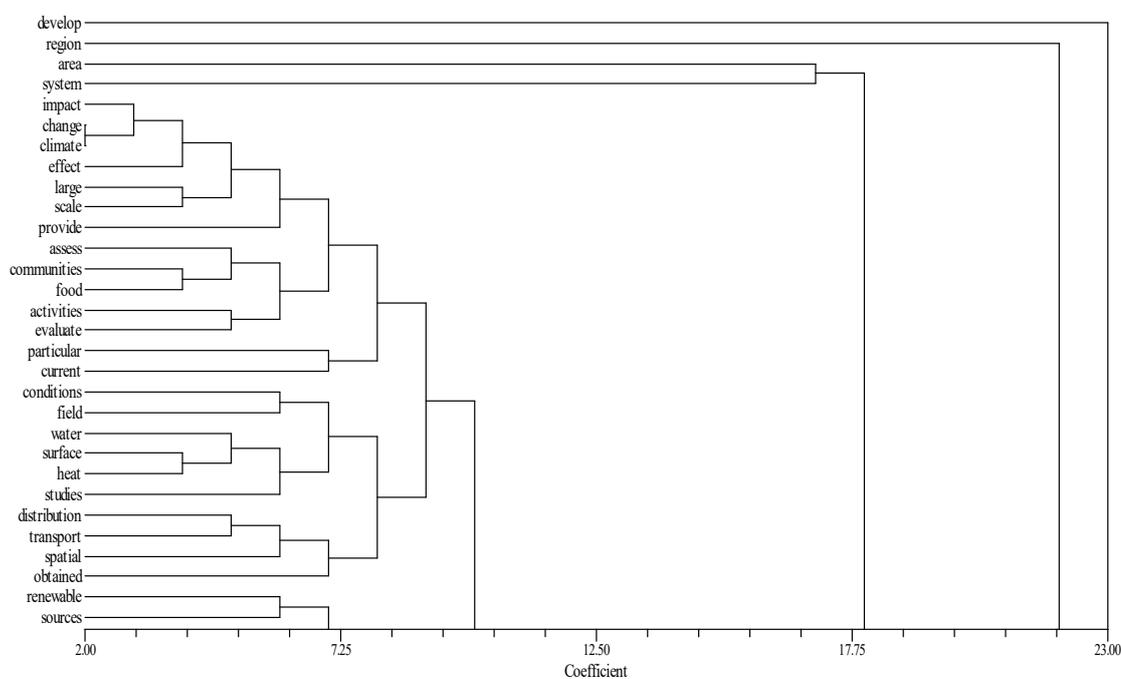


Figura 4. Árbol de vecindades, Relación Territorio-Energía.

Con el ánimo de analizar estas interrelaciones, y la manera en que se configura la relación entre territorio y energía en la producción científica analizada, en la Figura 4 se muestra el árbol de relaciones que muestra las agrupaciones de términos interrelacionados. En este se aprecia, de arriba hacia abajo, cómo las palabras desarrollo,

región, sistema y área se integran con un grupo más denso de términos que se enfocan de manera directa en la sostenibilidad: efectos, cambio, climático, impactos, gran escala, evaluación, comunidades, alimentación, actividades, evaluación, condiciones, campo, agua, superficie, calor, distribución, transporte y recursos renovables; mostrando de esta manera, desde el enfoque de energía y territorio, la existencia de un vínculo con el desarrollo sostenible, con una visión claramente territorial.

Relación Energía-Desarrollo

El primer grupo formado, mostrado en la Figura 5, muestra un enfoque de gestión y cambio tecnológico, enfocado en el análisis de los efectos y el impacto de la tecnología en los procesos productivos y el medio ambiente, vinculando términos como: *technology, cost, policy, model, climate change, carbon emissions, models, role, ryd* y *evidence*. En el segundo grupo se muestra la cercanía de: *environment, sustainable, use, data, production, sector, resource, natural*, evidenciando la preocupación de los autores que integran la energía y el desarrollo en fomentar un enfoque de sostenibilidad orientado a los procesos productivos existentes.

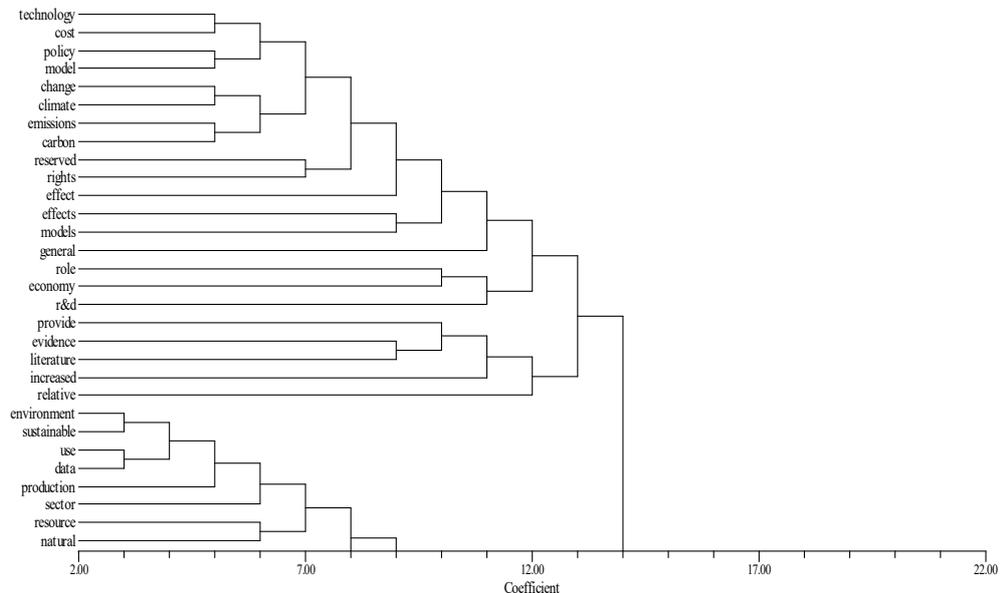


Figura 5. Árbol de vecindades relación Energía-Desarrollo.

2.1.3. Energía-Territorio-Desarrollo

El análisis de la frecuencia de estudio de los tres términos de manera integrada muestra en primer lugar la diferencia existente en la cantidad de trabajos que los vinculan de manera paralela en la literatura. Para el análisis en parejas, la búsqueda por palabras claves arroja 1928 artículos relacionando Territorio - Desarrollo donde energía solo aparecía en 55 ocasiones; mientras que de 234 trabajos analizados para Territorio - Energía, desarrollo aparecía en 109 trabajos; y de 254 trabajos que relacionan Desarrollo - Energía, el territorio es mencionado directamente en uno solo, con una frecuencia mayor de uso de términos relacionados como área, espacio o región.

Los resultados de búsqueda de los tres términos, como palabras claves en la producción científica, arrojaron un resultado neto de 50 trabajos. El primer trabajo referenciado en esta búsqueda corresponde al estudio de potencial hidro - energético en Costa Rica en el año 1984, seguido del desarrollo de un modelo termodinámico para la planeación territorial publicado en el año 2003. Los tres trabajos más referenciados se enfocan en el impacto de la implementación de proyectos de energía renovable en la sostenibilidad territorial (Del Río y Burguillo, 2008) la evaluación del potencial bio-energético en Sicilia (Beccali y otros, 2009) y el estudio del metabolismo urbano al desarrollo sostenible regional (Barles, 2010).

La estructura de las relaciones entre los términos muestra tres grandes grupos: el primero vinculando el desarrollo con la dinámica económica del territorio, incluyendo las dimensiones social y ambiental, mostrando también la relación entre estos conceptos y el estudio de portadores energéticos tradicionales y su impacto (*oil, gas*); un segundo grupo que da cuenta de la existencia de una relación entre políticas, estado, proyectos, alternativas y diferentes niveles de acción geográfica; y un tercer grupo que menciona la gestión sostenible del territorio y la eficiencia. A continuación, se muestra el árbol de relaciones obtenido del análisis de las publicaciones estudiadas.

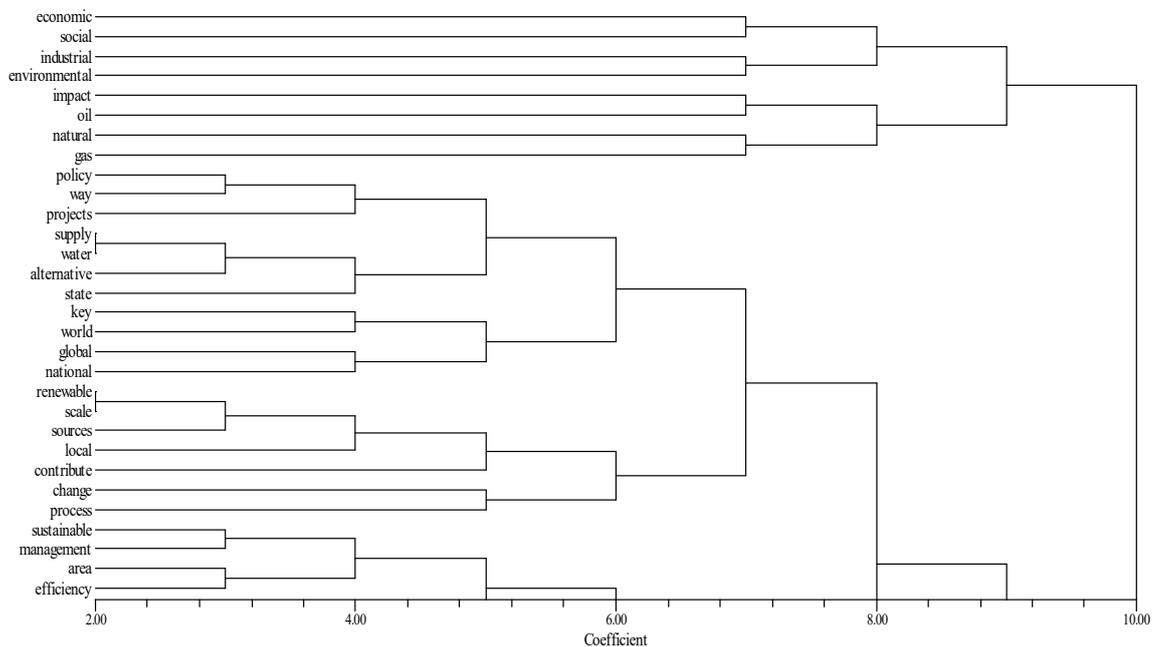


Figura 6. Árbol de vecindades relación ETD.

Además de las similitudes, es posible identificar un nuevo término que surge de la interacción de energía-territorio-desarrollo. Así como el desarrollo sostenible es un factor común de las interrelaciones, un elemento vinculante en todos los casos era la aparición de los recursos, (*natural resource* en TD; *renewable sources* en TE y *natural resource* en ED) bien fuera como fuentes energéticas o como factor de producción, por lo cual es importante notar la aparición del concepto “eficiencia” vinculado a la gestión de los recursos, los procesos, el territorio y la sostenibilidad, demostrando cómo este es un concepto importante en la interacción de las tres dimensiones analizadas y coincidiendo con Johansson, quien ha concluido que los retos principales para la transformación de los sistemas energéticos en el marco del desarrollo sostenible se han definido en tres escenarios: energías renovables, uso eficiente de la energía y la captura y almacenamiento de carbono (Johanson, 2009), requiriendo modelos de planeación y toma de decisiones que ayuden a dinamizar de manera integrada la interrelación entre Energía y Desarrollo y mecanismos de evaluación y valoración sobre la situación y el estado presente del territorio y sus escenarios futuros (Bandini, y otros, 2011).

En este sentido, en términos metodológicos, el análisis de los resultados obtenidos muestra la aplicación de los siguientes modelos de estudio:

- Emergía
- Exergía
- Metabolismo territorial
- Pandora
- Simulación y modelado basado en dinámica de sistemas
- Análisis envolvente de datos

Emergía y Exergía son métodos para el análisis de sistemas por medio de la medición del flujo y la acumulación energética en sus procesos. Exergía permite una aproximación termodinámica precisa de las características de los procesos y emergía permite expandir la evaluación a gran escala, considerando la totalidad de la energía y el flujo de recursos que sustentan sistemas complejos (Sciubba & Ulgiati, 2005). El metabolismo territorial mide los flujos de recursos y procesos en el territorio, proceso en el que la energía es un componente importante (Troy, 2014). Pandora es un modelo de estudio que se centra en el análisis matemático de la evolución del territorio, concentrándose en el análisis de estabilidad energética de las estrategias de planeación (Gobattoni, Pelorosso, Lauro, Monaco, 2011). El análisis envolvente de datos se enfoca en la eficiencia energética de los sistemas analizados (Restrepo & Villegas, 2007), mientras que la simulación y la dinámica de sistemas se concentran en las interrelaciones existentes entre los distintos subsistemas existentes en el territorio.

Un elemento importante que resalta del análisis de estos procedimientos identificados es la importancia y el papel que desempeña la energía y su flujo a través de los procesos como fuerza dinamizadora del desarrollo. Aunque cada herramienta es importante en su nivel de adaptación y apropiación de conceptos específicos de las relaciones ETD, el aporte de los métodos de análisis emergético y exergético al transformar la totalidad de los flujos en los procesos territoriales en una unidad de medida homogénea permite no solo la valoración sino el análisis de todos los componentes de manera integrada.

2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA E IMPACTOS AMBIENTALES EN LA RELACIÓN ENERGÍA-TERRITORIO-DESARROLLO

La eficiencia y los impactos ambientales son factores claves en las diferentes dimensiones que configuran la relación ETD, por lo cual pueden ser tratados como características inherentes a los sistemas bajo análisis. La medida y evaluación de estos factores permite obtener una visión propia de la dinámica de uso y aprovechamiento de los recursos al tiempo que favorece la formulación de estrategias para lograr conjuntamente: la maximización de los resultados deseados y la minimización de los impactos negativos. Por lo tanto, en esta sección se analiza la eficiencia energética como un elemento determinante de la sostenibilidad en los sistemas ETD, a partir de dos herramientas identificadas en la revisión conceptual precedente: la síntesis emergética para la utilización de una unidad de medida homogénea de los flujos energéticos y el análisis envolvente de datos (DEA) para la evaluación conjunta de las fuentes energéticas, los flujos de entrada, los productos y los efectos ambientales, buscando con ello definir un marco teórico que permita la integración de estas herramientas y favorecer al mismo tiempo el análisis y la formulación de estrategias de desarrollo en el territorio.

2.2.1. Fundamentos

Odum y Pinkerton (1955) plantean que los sistemas (como el territorio, en este caso) tienden a operar a un nivel de eficiencia que produce la máxima salida de potencia, en contraposición a la teoría de que los sistemas pueden operar al máximo nivel de eficiencia posible, demostrando con esto, la tendencia propia de los sistemas a dar prioridad a la producción por encima de los recursos. Esto, en la dinámica ETD significa que, en el territorio, como un sistema, existe una tendencia natural a organizarse de manera que los resultados de sus procesos alcancen el máximo nivel, lo que podría interpretarse como un estado óptimo de desarrollo; sin embargo los procesos humanos no operan a los niveles de eficiencia que se esperarían teóricamente, por lo cual, dejan en evidencia la necesidad de encontrar alternativas que permitan alcanzar el nivel óptimo de acuerdo al contexto particular de cada sistema; por esto, se analizarán, en primer lugar, las variables claves que configuran el concepto de eficiencia, con especial énfasis en la eficiencia energética, para luego integrar estos elementos en un modelo de medición y evaluación que permita,

en el marco ETD, plantear estrategias de acción destinadas a maximizar los resultados de la interrelación, con el mínimo impacto negativo posible, buscando con ello, la relación óptima entre los procesos ETD y las estrategias del territorio.

2.2.2. Eficiencia energética, y sostenibilidad en el marco ETD

La RAE (2017), define la eficiencia (del latín *efficientia*) como la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado, mientras el diccionario Oxford en inglés la define como: “una cualidad que permite a los sistemas alcanzar al mismo tiempo la máxima productividad y el mínimo costo” (Oxford University Press, 2017). La definición tradicional de eficiencia, en campos como la ingeniería, la economía y la administración, integra la evaluación de los resultados frente a los recursos utilizados en los procesos productivos, las máquinas, o sistemas bajo análisis (Coll y Blasco, 2006), en un enfoque manifiesto de igualar la eficiencia y la productividad (Fernández y Sánchez, 1997), siendo entonces, la eficiencia, la relación entre los resultados divididos por los recursos utilizados.

En la literatura se hace mención a la existencia de tres tipos de eficiencia: de escala, asignativa y técnica, según su enfoque y tamaño de producción (Sepúlveda M, 2011) y así mismo se derivan diferentes medidas de acuerdo con el campo de aplicación (por ej.: física, economía, agricultura). En este trabajo se seguirá el enfoque de la eficiencia técnica o eficiencia productiva (Farrell, 1957), que busca encontrar el máximo resultado posible con la combinación de los recursos empleados, haciendo énfasis en este caso, en la eficiencia energética, sobre la cual Poveda (2007) afirma que “...agrupa acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar el bienestar ni la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro. Logrando, ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población. Simultáneamente se logran reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y mejoras en las finanzas” (p. 3).

Respecto al papel de la eficiencia energética en los sistemas productivos, son diversos los autores que la clasifican como un recurso (Por ejemplo Prindle y Eldridge (2007) ó Thoyre (2015)) siendo equiparado en la práctica con el uso de fuentes renovables y no convencionales de energía (Poveda, 2007), resaltando no solo el impacto de la misma en

la productividad, sino también el efecto a corto, mediano y largo plazo de la eficiencia sobre los sistemas ambientales. Por otra parte, es mucho mayor el número de trabajos que analizan la eficiencia energética como un objetivo particular de los procesos o como una variable clave en la configuración de la productividad de los mismos. El análisis de la relación ETD, permitió demostrar cómo el uso y la asignación de los recursos, así como la eficiencia misma de los procesos, eran factores claves para el desarrollo de los territorios, por lo cual se puede establecer que la eficiencia es una característica propia de los sistemas, inherente a la dinámica y las interrelaciones entre sus elementos.

Respecto al impacto de la eficiencia existen estudios y autores que plantean una crítica directa al efecto potencial de esta en el largo plazo. Herring (2000) por ejemplo plantea que la reducción de los consumos desde un punto de vista económico produce una reducción de los costos y precios de la energía e incrementa la disponibilidad de la misma, provocando con el tiempo un incremento en el consumo, por lo cual, los efectos ambientales perseguidos se desvanecen, apuntando a la necesidad de un modelo de conservación energética, por encima de un modelo de eficiencia. Sin embargo, para Jordan, estas críticas pierden sentido al momento de analizar la elasticidad de la oferta y la demanda energética de acuerdo con el tipo de producción en que esta se concentre, y adicionalmente al costo asociado a los efectos imprevistos en el proceso de generación de energía y el uso de fuentes y procesos contaminantes (Jordan, 2013).

2.2.3. Medición y evaluación de la eficiencia en el marco ETD

Respecto a la relación matemática de eficiencia, Jordan (2013) manifiesta que, aplicada a la eficiencia energética, esta relación puede ser entendida como el retorno energético de la energía invertida en el análisis de redes ambientales, con una amplia utilización para medir la productividad de los recursos, por ejemplo, en el caso de la agricultura, aunque con una limitación práctica, resaltando que tradicionalmente en este tipo de análisis las entradas solo se vinculan con la energía invertida por los seres humanos (energía integrada al proceso, como combustibles, jornales, entre otros) y se deja de lado la energía invertida por la naturaleza y los sistemas ambientales, resaltando una preocupación ya manifestada por Odum (1996) desde el análisis emergético, quien

manifiesta además, que en los sistemas humanos los procesos no operan a los niveles de eficiencia esperados (Odum y Pinkerton, 1955).

Con el ánimo de vincular en la medida tanto los flujos libres (aportados por la naturaleza) como los flujos subsidiados (o flujos integrados en los subsistemas productivos) buscando aumentar la comprensión de las interrelaciones entre todos los elementos del sistema el modelo de síntesis emergética propuesto por Odum (1996), e identificado en el estudio cuantitativo como uno de los modelos de valoración integradores de la ETD, fue seleccionado como la base para el análisis de eficiencia energética en este trabajo; las razones de esta elección incluyen: la visión sistémica del territorio y la valoración del mismo a partir del cálculo de la totalidad de flujos e interacciones que en este se dan, tomando como base una medida única energética lo que permite tener una visión de los procesos en conjunto y la posibilidad de integrar los resultados de la dinámica del territorio en el análisis.

2.2.4. Síntesis emergética

Como método de valoración ambiental, el campo de la **emergia**⁶ provee información valiosa para la planeación ambiental y la gestión de recursos en el territorio, permitiendo también evaluar el impacto de las actividades humanas y los cambios provocados por las mismas en un área particular (Long y Ulgiati, 2016). La aplicación de los principios emergéticos al análisis de un sistema, se conoce como “Síntesis emergética” y se basa en el trabajo desarrollado por Odum y el Centro de política Ambiental de la Universidad de Florida, cuya aplicación se da en tres etapas (Brandt - Williams, 2002):

- Entendimiento del sistema
- Cálculo de flujos emergéticos
- Análisis de la sostenibilidad del sistema

⁶ El término *emergia*, en su versión original en inglés, se refiere a *embodied energy (em-ergy)* o *energía incorporada* (Odum, 1996).

Entendimiento del sistema

Es necesaria una caracterización del sistema bajo estudio, así como el entendimiento de las interrelaciones asociadas a cada elemento que compone el sistema bajo análisis. La efectividad del modelo depende en alto grado del nivel de entendimiento del investigador sobre el sistema analizado (Brandt - Williams, 2002). La metodología general de esta etapa incluye la definición de las fronteras del sistema y el uso de diagramas para la caracterización de las condiciones propias del entorno a ser analizado (Odum, 1996).

La diagramación del sistema favorece su entendimiento a partir de los flujos de energía y la aplicación de análisis termodinámico a sus interacciones. Para esto, a partir del trabajo de Odum se ha definido un lenguaje propio del campo, denominado lenguaje energético, que no es más que un conjunto de símbolos para la representación de cada componente en el sistema, cuyas descripciones se encuentran, tanto en su definición conceptual, como en archivos libres para descarga, disponibles en:

http://www.cep.ees.ufl.edu/emergy/resources/symbols_diagrams.shtml

Flujos energéticos

El modelo de síntesis emergética, reconoce la existencia de los siguientes flujos en los sistemas analizados (Odum, 1996):

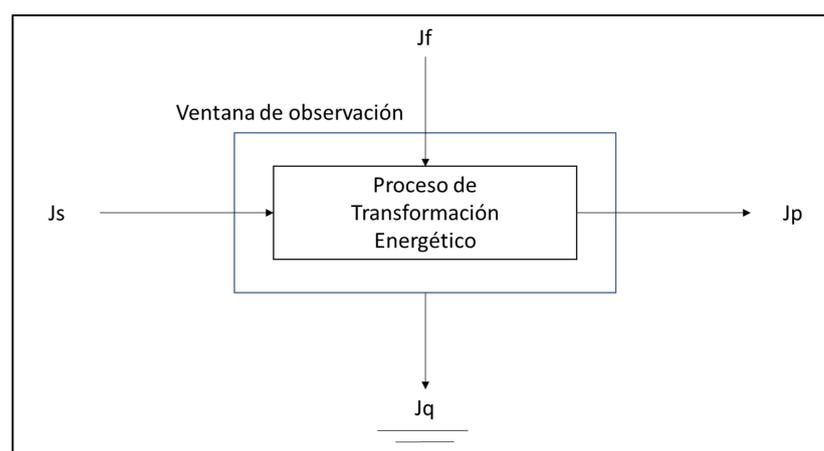


Figura 7. Diagrama sistémico del proceso de transformación energética. Fuente: Adaptado de (Odum, 1996)

Dónde:

- Js: Gran cantidad de flujo de energía disponible de baja calidad. En sistemas territoriales, este flujo corresponde con la entrada al sistema de flujos de energía provenientes de la naturaleza (por ejemplo: la luz solar, flujos geo-biofísicos, el potencial químico de la lluvia entre otros); estos flujos representan una fracción libre, es decir, son provistos directamente por fuentes renovables al sistema analizado (Odum, 1996);
- Jf: Entrada de pequeña cantidad de energía disponible de alta calidad. En los sistemas analizados corresponde a entradas añadidas al sistema por la dinámica social, económica y productiva, incluyendo (pero no limitándose) a: combustibles, insumos agrícolas, materias primas, Jordan (2013) denomina estos flujos como subsidiados, en la medida en que, para el incremento de la productividad en los sistemas, es necesario agregar energía al mismo desde fuentes externas
- Jq: Flujos de energía usada y degradada, dirigidos a los sumideros. Corresponde a la energía degradada incapaz de realizar trabajo, que es “perdida” por ejemplo en forma de calor;
- Jp: Producción de energía disponible de diferente forma o concentración. Corresponde a los productos o resultados de las interacciones entre los elementos que conforman el sistema territorial.

En todos los casos y un punto importante en el aporte de la síntesis emergética en el estudio de los sistemas territoriales es el uso de una unidad común de medida que permite el análisis integral de los sistemas y la comparación de valores de diferentes fuentes que aportan en el desarrollo de los mismos. Estos flujos son medidos en una unidad común denominada *Solar emjoule* o enjulio solar, representado por el símbolo **sej** y que representa el equivalente en energía solar de la energía consumida en las diferentes transformaciones que se han dado en el desarrollo de un producto o servicio tanto natural como artificial (Odum, 1996).

Eficiencia en el modelo de síntesis energética

En el análisis de eficiencia energética en un sistema, las medidas, los cálculos y las estrategias se enfocan en los flujos subsidiados (J_f), mediante la relación *input/output* o el retorno energético de la energía invertida en el sistema, cuyo enfoque principal es la comparación de diversas fuentes energéticas, para la selección de la fuente de mayor retorno (Hall, 2012), sin embargo, aplicado solo a esta fracción, constituye una medida de productividad que puede llevar a errores de apreciación en la sostenibilidad del sistema (Jordan, 2013) ya que por ejemplo, aunque se han logrado incrementos en la productividad del uso de la tierra en diferentes sistemas agrícolas, estos han disminuido su eficiencia energética cuando se integran todas las fracciones de entrada en el cálculo total.

2.2.5. Análisis envolvente de datos

El análisis envolvente de datos (DEA) es una técnica no paramétrica utilizada para el cálculo de indicadores de eficiencia y análisis comparativo entre diferentes unidades de producción (Restrepo y Villegas 2007). Su utilidad se basa en múltiples aspectos como la capacidad del modelo matemático para facilitar el cálculo de la eficiencia sin la necesidad de conocer la relación existente entre las entradas y salidas del sistema y la posibilidad de estudiar sistemas compuestos por múltiples entradas y salidas favoreciendo la determinación de patrones de referencia y la propuesta de valores objetivos para la optimización de los resultados (González, 2010).

En el campo de la eficiencia energética, los modelos DEA han sido utilizados con múltiples propósitos. Mardani y otros (2017), en una revisión de los trabajos enfocados en este tema, resaltan como DEA muestra ser una herramienta fuerte para el análisis y la solución de problemas en el campo de la eficiencia energética incluyendo temas como la eficiencia ambiental, el ahorro de recursos, las implicaciones en la economía y la eco-eficiencia, entre otros. A continuación, se describen las particularidades de los modelos y la evaluación de sistemas mediante la metodología DEA.

Modelos DEA

Los modelos DEA se basan en una serie de relaciones matemáticas que permiten la evaluación de eficiencia en sistemas compuestos por múltiples entradas y múltiples salidas donde la agregación de los datos es compleja. (Mardani y otros, 2017). El modelo se basa, en primer lugar, en el análisis comparativo o *benchmarking* de múltiples unidades tomadoras de decisiones (DMU's por sus siglas en inglés), que corresponden a unidades productivas similares (Restrepo & Villegas, 2007) y cuya medida de eficiencia se basa en la relación input/output ya mostrada en la sección 2.1, pero en este caso, resuelta mediante un modelo de programación lineal, que permite la maximización de entradas y/o salidas.

De acuerdo con el enfoque aplicado estos modelos pueden ser orientados a las entradas, cuyo objetivo es disminuir las cantidades de insumos manteniendo constantes las salidas; o centrados en las salidas, basados en la intención de aumentar los productos manteniendo constante el uso de recursos (González, 2010).

Salidas indeseadas

En el enfoque particular de este estudio se plantea la evaluación conjunta de la eficiencia y los impactos ambientales como factores claves de la dinámica ETD. En este sentido, la orientación matemática de los modelos DEA se basa en la maximización de los resultados y por tanto la medición de impactos como un resultado maximizado no es correcta. Zhang, Chen y Heck (2014) explican que para superar este problema existen enfoques metodológicos como: considerar las emisiones (o impactos) como costos asociados al proceso y evaluarlos como una entrada, realizar una transformación de las variables y la medición de las emisiones antes de considerar su cálculo como salidas. En este trabajo, se utilizará el enfoque de salidas indeseadas mediante el modelo de transformación propuesto por Seiford y Zhu (2002).

CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLOGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACION

La presente es una investigación de naturaleza teórica-metodológica. Es teórica por cuanto analiza y organiza aspectos teóricos y conceptuales de la relación entre Energía-Territorio y Desarrollo (ETD) en el marco de la sostenibilidad. Para esto se basa en el estudio de la correlación existente entre los términos citados en el universo de estudios científicos que vinculan estos temas. Al mismo tiempo es metodológica porque en su desarrollo se propone un modelo metodológico para la gestión eficiente de la energía en la dinámica ETD.

Al mismo tiempo, esta investigación integra elementos cuantitativos en el estudio de la interrelación entre la eficiencia energética, la dinámica del territorio y el desarrollo y elementos cualitativos en la visualización y comprensión de los procesos existentes a partir de la perspectiva de las ineficiencias implicadas en el fenómeno estudiado, proponiendo al final estrategias para la superación de las mismas con base en los fundamentos del desarrollo sostenible.

Así, en este trabajo se intenta describir, explicar, interpretar y comprender una problemática compleja de manera que integre diversas dimensiones del problema que tradicionalmente han sido abordadas de manera independiente.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Dada la naturaleza de esta investigación, es necesario definir diferentes tipos y niveles de población para el trabajo. En primer lugar, desde la perspectiva teórica se persigue identificar las relaciones claves y los aspectos principales que rodean la producción científica existente en torno a la relación ETD en el marco de la sostenibilidad. Para esto se toma como universo de estudio la totalidad de publicaciones científicas existentes en torno a los temas E-T-D, con una limitación práctica a aquellos que han sido indexados en la base de datos SCOPUS. Esta búsqueda no tuvo una restricción temporal.

Desde la perspectiva metodológica, como se explicó anteriormente, se persigue el desarrollo de un modelo para la gestión eficiente de la energía en el territorio y los procesos existentes. Para esto, se desarrolló la integración de la síntesis emergética y el

análisis envolvente de datos. Con esto en mente se aplicó un estudio de casos que permitiera comprobar en la práctica la integración de las herramientas, la existencia de la información relevante para su implementación y el análisis de resultados en línea con el propósito del modelo desarrollado.

La elección del caso de estudio se realizó con base en el criterio de disponibilidad de información y recursos para la aplicación de los instrumentos necesarios. Así, esta investigación se integró dentro del proyecto: “Determinación de Huellas Ambientales como indicador en la toma de decisiones en el manejo integral de la producción de cafés especiales en el sur del Departamento del Huila”, el cual permitía el acceso geográfico y metodológico al municipio y sus productores. Dada su condición de principal productor de café en el país, la disponibilidad y el acceso a información primaria en el marco del proyecto huellas y la existencia de recursos para el estudio, se define como unidad de análisis el municipio de Pitalito en el Departamento de Huila y en este escenario se estudia la interacción entre energía, territorio, eficiencia, desarrollo e impactos ambientales.

El análisis se centró en primer lugar en un estudio general del municipio con el ánimo de describir la dimensión, naturaleza y composición del mismo en torno a las dinámicas de generación, uso y aprovechamiento de la energía y luego un análisis general de flujos y eficiencia enfocado en identificar, frente al estado del arte existente, las principales fortalezas e ineficiencias de sus procesos. A nivel local se trabajó inicialmente con una muestra de 252 productores de café con el fin de estudiar de manera detallada las condiciones particulares y la dinámica productiva de la relación ETD en diversos niveles territoriales (Municipio, asociación, finca), así como de centrar el análisis en los procesos con mayor demanda de flujos energéticos existentes. De esta muestra inicial, la síntesis energética y la evaluación de eficiencia en las unidades productivas territoriales estudiadas se aplicó en un total de 99 muestras que contaban con la información completa para el cálculo de estos elementos.

Dada la disponibilidad de información, los datos utilizados como insumo para el estudio energético en el nivel de municipio fueron tomados con base en el año 2014 y actualizados según la disponibilidad de información al año 2015. Para el estudio de nivel territorial de fincas, los datos fueron recolectados durante el año 2016.

3.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo se realizó en tres etapas de acuerdo a la dinámica y la lógica propuesta en los objetivos específicos; el diseño propuesto fue secuencial, aunque existen puntos de convergencia que permitieron la ejecución paralela de actividades y análisis. A continuación, se muestra el esquema general de la metodología aplicada, y luego se explica en detalle cada paso correspondiente.

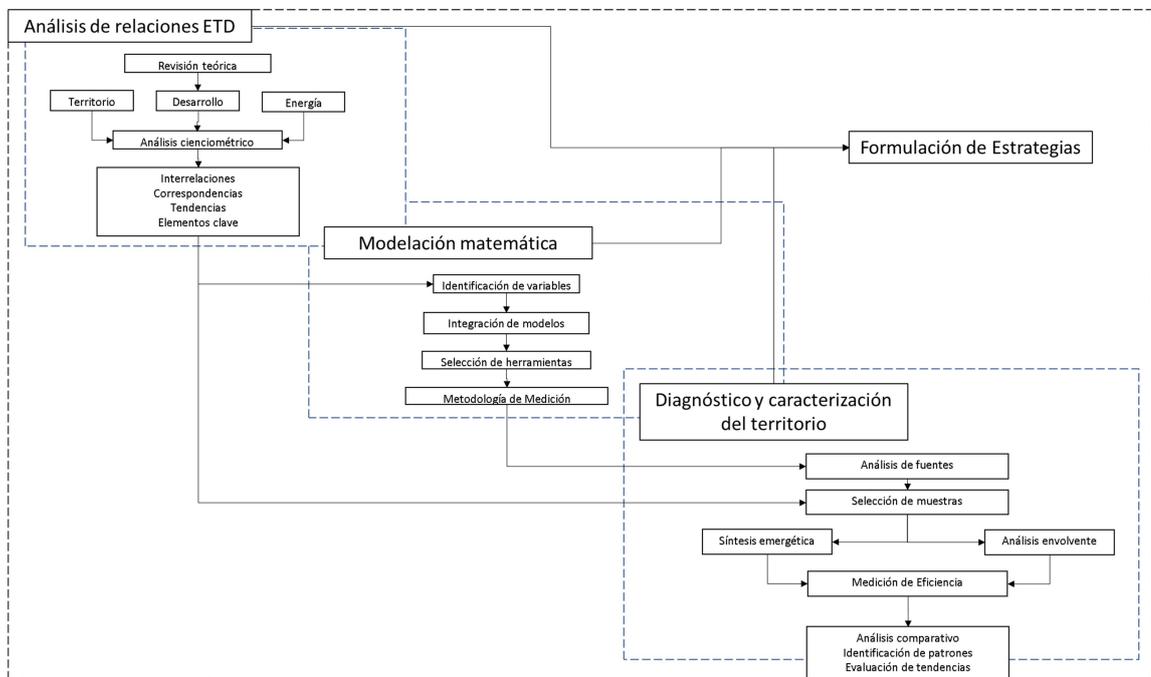


Figura 8. Estructura general del diseño metodológico aplicado

3.3.1. Análisis de relaciones ETD

Los resultados de esta etapa hacen parte de la primera sección del marco teórico, mostrados en el capítulo 2, buscando responder a la pregunta: ¿De qué manera la interrelación entre Energía y Desarrollo actúa como determinante de la sostenibilidad del territorio? Esta revisión se realizó con el propósito de establecer la base desde la cual se configuran los tres elementos centrales del análisis en este proyecto: Territorio (T),

Desarrollo (D), Energía (E), incluyendo: revisión teórica de cada elemento – ETD, así como las relaciones por pareja de término ED – ET – DT y revisión de las interrelaciones conjuntas E-T-D. La Figura 9 muestra el procedimiento aplicado a esta etapa.

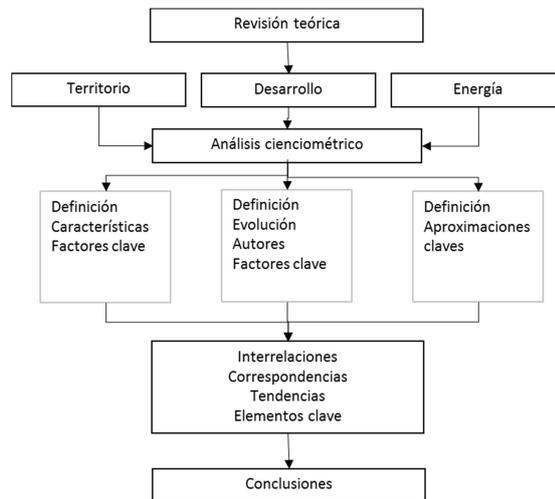


Figura 9. Esquema metodológico de la revisión.

No se pretende con esta revisión ahondar en la discusión de base que configura las definiciones particulares de cada elemento por separado. La intencionalidad y los objetivos de este trabajo requieren no la creación sino la adaptación de las definiciones de acuerdo con:

- Relación ETD y sostenibilidad;
- Características y variables claves de la ETD;
- Relación entre los tres elementos (búsqueda de criterios integradores);
- Definición conjunta de los términos ETD, en el marco de acción de esta propuesta;

El anexo 1. Brinda acceso a los datos en bruto obtenidos de la revisión, el procedimiento de búsqueda detallado en las bases de datos y la delimitación de los criterios de búsqueda y selección de los artículos analizados en cada parte del estudio.

3.3.2. Modelado matemático

Como resultado de la primera etapa, se lograron definir dos elementos claves en el análisis de los sistemas ETD: La eficiencia energética y la minimización de impactos. El objetivo principal de este capítulo es el desarrollo de un modelo de medición y análisis de la eficiencia e impactos como características claves de la relación ETD. Para esto se integraron dos instrumentos metodológicos identificados en la revisión: la síntesis energética que permite el análisis de las fuentes, el uso y el aprovechamiento de los principales flujos energéticos vinculados al sistema territorial y el análisis envolvente de datos (DEA) que facilita la evaluación de la eficiencia en sistemas compuestos por múltiples entradas (flujos energéticos) y salidas (resultados del sistema e impactos) permitiendo identificar las condiciones tecnológicas favorables para la maximización de los resultados y la minimización del uso de los recursos.

Para esta integración, se siguió un proceso de análisis, valoración y composición del modelo de acuerdo con la Figura 10.

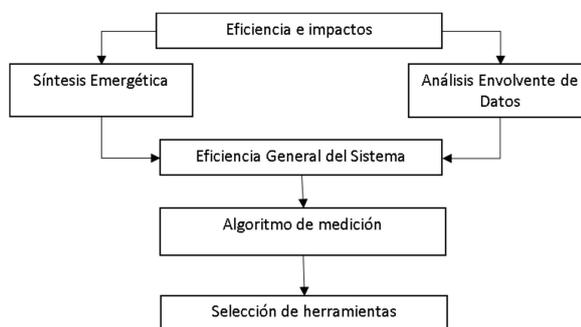


Figura 10. Proceso metodológico de integración energía-DEA.

Para la formulación matemática del modelo se siguieron los siguientes procesos:

- **Definición de eficiencia e impactos:** Se identificaron referentes bibliográficos relacionados con el estudio de eficiencia en sistemas territoriales. Se utilizó la relación *input/output* identificada en la literatura. Se aplicaron los principios de eficiencia energética en sistemas termodinámicos propuestos por Odum y Pinkerton (1955), los principios de eficiencia y sostenibilidad planteados por

Jordan (2013) para sistemas territoriales y la eficiencia técnica como referente, buscando encontrar una relación que permita alcanzar el máximo resultado posible con la combinación de recursos existentes (Farrell, 1957).

- **Eficiencia del sistema:** Se integraron los modelos de síntesis emergética (Odum, 1996) y el modelo DEA (Sepúlveda M., 2011) input orientado con rendimientos variables a escala y salidas indeseadas. Esta medición da como resultado un análisis comparativo de diferentes unidades (para este caso territorios) en torno a la relación de eficiencia en el uso de sus recursos y la producción de los mismos.

3.3.3. Diagnóstico y caracterización de territorios

El capítulo 4 muestra la aplicación del modelo de síntesis emergética en el municipio de Pitalito, mientras el capítulo 5 se enfoca en el análisis integrado mediante el modelo Emergía-DEA en el proceso de cultivo de cafetos.

En la tabla 3 se presenta el cálculo detallado de los flujos emergéticos en Pitalito con las respectivas anotaciones, fuentes de información utilizadas y ecuaciones de cálculo aplicadas según el procedimiento planteado por Odum (1996). El anexo electrónico 1 presenta los datos recolectados en los instrumentos de campo (anónimos por criterios de confidencialidad) y los cálculos realizados para cada unidad productiva y el anexo electrónico 2 muestra los resultados de la evaluación de eficiencia.

3.3.4. Propuesta y estrategias

Derivado de los resultados obtenidos en las etapas precedentes se identificaron las principales ineficiencias, las tendencias y los patrones de producción y consumo energético, a partir de estos resultados se definieron los principios fundamentales para el incremento de la eficiencia y minimización de impactos para los territorios basadas en la relación ETD.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.4.1. Técnicas de investigación

En este trabajo se integraron las siguientes técnicas y herramientas de análisis de datos:

- Revisión y análisis cuantitativo: Basado en el análisis estadístico de correspondencias entre las palabras claves definidas por los autores científicos de publicaciones vinculadas con los términos ETD, esta herramienta permitió identificar tendencias, interrelaciones, y temas claves en la dinámica de integración de la energía, el territorio y el desarrollo como elementos claves de la sostenibilidad.
- Síntesis energética: Basado en el modelo termodinámico de análisis de sistemas propuesto por Odum (1996) con esta herramienta se analizó tanto el territorio de Pitalito como una muestra de territorios cafeteros para identificar la dinámica y la estrategia de gestión en la relación Territorio-Energía para cada caso.
- Análisis envolvente de datos: Esta herramienta permitió la cuantificación de los niveles de eficiencia energética en cada territorio cafetero mediante la aplicación de un modelo de programación lineal enfocado en determinar el nivel óptimo de entradas energéticas que favorecen la producción, el incremento de los índices de sostenibilidad energética y la minimización de las emisiones de carbono en el territorio.

3.4.2. Instrumentos

En cada uno de los capítulos relacionados se muestran en detalle los instrumentos analizados, en resumen, se plantea la utilización de los siguientes elementos:

- Bibliografía: Se realizó la compra de tres publicaciones: Environmental accounting (Odum, 1996), Energy, power and society y The very Hungry city (Troy, 2014) a través del sistema de venta de Amazon y Amazon Kindle. Para el acceso a los demás contenidos bibliográficos se tomó como referencia el acceso institucional a Scopus (Universidad de Manizales) y el acceso provisto por la biblioteca estatal de la Universidad de Goettingen (<https://www.sub.uni-goettingen.de/sub-aktuell/>) durante la estancia de investigación.

- Fuentes de información: Las fuentes secundarias se utilizaron principalmente en el análisis emergético de los territorios y consisten en datos de acceso público, estudios gubernamentales, planes de desarrollo y sistemas de información geográfico. Las tablas de síntesis emergética (tabla 3 y anexo electrónico 2) contienen notas apropiadas para el seguimiento de cada una de estas fuentes. Para las fuentes de información primaria se contó con la elaboración de 255 encuestas a productores en el marco del proyecto “Determinación de Huellas Ambientales como indicador en la toma de decisiones en el manejo integral de la producción de cafés especiales en el sur del Departamento del Huila”.
- Herramientas informáticas: Se utilizaron las aplicaciones Word, Excel y Power Point de la suite ofimática Microsoft office. Igualmente se aplicaron algoritmos de análisis de datos con aplicaciones Vba para excel. El análisis estadístico se realizó de manera combinada utilizando las aplicaciones Excel, Ntsys y SPSS.

CAPÍTULO 4: SÍNTESIS EMERGÉTICA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD: ANÁLISIS DE FLUJOS ENERGÉTICOS EN LA DINÁMICA TERRITORIAL DE PITALITO-HUILA

4.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible requiere la aplicación de procesos y herramientas que vinculen a las personas, los recursos, la cultura, y la economía con el medio ambiente (Cohen, Sweeney, King, Sheperd y Brown, 2012). Para la reducción de los impactos negativos causados por estas interacciones es necesario partir de una apreciación de los recursos y los servicios brindados por el entorno (Vito Comar, 1998), así como el desarrollo de estrategias de gestión que integren la ecología y la economía en el conocimiento y la promoción de los procesos vitales involucrados (Brown, Green, González y Venegas, 1992). La energía, en este punto, es un factor clave en la dinámica de estas interacciones, siendo una fuerza dinamizadora de los procesos del territorio y un componente fundamental del desarrollo sostenible, aunque su uso en las comunidades ha sido entendido también, como el mayor conductor de cambios antropogénicos ligados al cambio climático (Howard, y otros, 2013).

En este contexto, el estudio de la relación entre energía, territorio y desarrollo (ETD) requiere encontrar un balance entre la maximización de los resultados esperados en los sistemas analizados así como la minimización de los impactos negativos derivados de los procesos existentes, por lo cual se hace necesario modelar la situación y el estado particular del territorio y sus escenarios futuros (Bandini, y otros, 2011), favoreciendo la búsqueda de soluciones ambientalmente amigables, socialmente aceptables y costo-efectivas mediante la integración de métodos, herramientas, (Mirakyan y De Guio, 2013) y la aplicación de métodos cuantitativos para el modelado de los sistemas ETD (Vega y otros, 2013).

Con el objetivo de describir la dimensión, naturaleza y composición de las comunidades en torno a la dinámica de generación, uso y aprovechamiento de la energía según su campo de aplicación, las fuentes utilizadas y el destino final de las mismas, así como identificar oportunidades de gestión y desarrollo de estrategias para la sostenibilidad territorial, este trabajo presenta la síntesis emergética como soporte al análisis de los

flujos de recursos, energía, materiales e información (Campbell & Ohrt, 2009) mediante un estudio de caso aplicado en el municipio de Pitalito en el Departamento de Huila en el suroccidente colombiano.

4.2. SÍNTESIS EMERGÉTICA

4.2.1. Diagrama general y descripción del sistema territorial

Dada la naturaleza del sistema a ser analizado, se tomó como base el modelo de diagrama general propuesto por Brown para el análisis de sistemas territoriales con interrelación entre zonas urbanas y rurales, donde las relaciones entre el ser humano y su ambiente incluyen procesos sociales, económicos y ambientales (Brown y otros, 1992). La Figura 11 muestra el esquema gráfico general aplicado. Dónde

- **R:** Flujos de fuentes renovables, incluyendo flujo solar, eólico, geotérmico, viento, lluvia y ríos
- **N:** Flujos no renovables, o flujos de stocks del sistema usados de manera no renovable, incluye, minería, y productos de explotación de recursos naturales, utilizados de manera no renovable.
- **F:** Entradas al sistema desde el entorno, incluye recursos como el uso de combustible, maquinarias, equipos, servicios
- **Y:** Aporte emergético, suma de flujos R, N y F

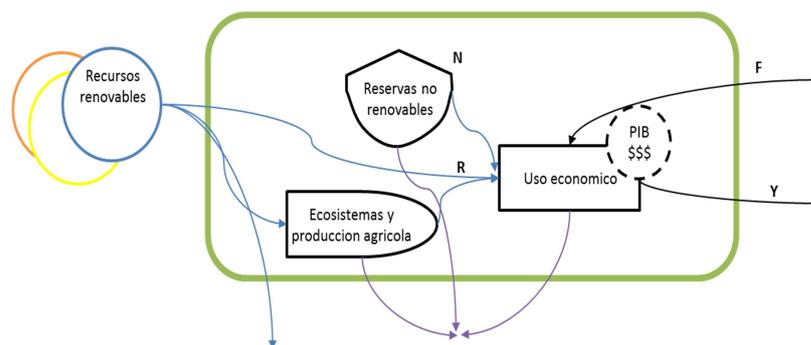


Figura 11. Diagrama genérico para síntesis emergética en sistemas territoriales.

Descripción del territorio

Fundado en el año 1818, ubicado en el suroccidente del país, a una altura media de 1.318 msnm, Pitalito posee una extensión de 626,07 km² y 125.839 habitantes (DNP, 2016a), para una densidad poblacional de 201 hab/km², superior a los promedios nacional de 43 hab/km² y mundial de 56,62 hab/km² (Banco Mundial, 2016). Con una economía predominantemente agrícola, los cultivos ocupan un área aproximada de 301 km² correspondiente al 48,1% del territorio, con 21 productos que conforman la vocación productiva del municipio, destacando la oferta de frutales, maíz y verduras, siendo el café, con un área de 20.154 hectáreas sembradas en el año 2014, el principal cultivo del municipio (Ministerio de Agricultura, 2016) siendo además el principal municipio productor de café en el país y destacado por su oferta de cafés especiales (Alcaldía de Pitalito, 2016).

La producción cafetera del municipio, a pesar de su volumen, representa en términos económicos, solamente un 8% del valor agregado municipal (Departamento Nacional de Planeación, 2016). El sector primario se complementa con actividades de cría y explotación ganadera y porcina, con poco más de 24.000 cabezas de ganado en el año 2014 (Ministerio de Agricultura, 2016). Igualmente las actividades económicas del municipio incluyen: la explotación minera, principalmente de materiales de construcción (Alcaldía de Pitalito, 2016) y los sectores comercial y de servicios muestran una dinámica particular debido principalmente a la posición privilegiada del municipio como eje de interconexión vial entre los departamentos de Cauca, Huila y Putumayo.

4.2.2. Análisis de flujos y consumo emergético

Resumen general de flujos

Continuando con la metodología aplicada, se construyó la tabla de resumen de los principales flujos identificados, la cual permite analizar de manera general las fuentes, el uso y el aprovechamiento de los recursos energéticos involucrados en la dinámica de los territorios. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos calculados con base en datos existentes para los años 2014 (año base de cálculo) y 2015 cuando los datos disponibles permitían la actualización de los flujos; los cálculos detallados, así como las fuentes de información utilizadas se muestran como notas adjuntas a la tabla de acuerdo

con el modelo de síntesis energética y también pueden ser consultados en el archivo síntesis.xls en el anexo electrónico 2. A menos que se mencione explícitamente en la tabla, los valores de transformidad utilizados fueron tomados de Odum (1996) y Campbell y Ohrt (2009).

Tabla 3. Resumen de flujos energéticos en Pitalito para el año 2015

Nota	Ítem	Valor entrada	Unidad	Transformidad	Energía
				(sej/unidad) *	
RECURSOS RENOVABLES					
1	Solar recibida	3,59E+18	J	1	3,59E+18
1	Solar absorbida	2,98E+18	J	1,21	3,60E+18
2	Lluvia, potencial químico	5,10E+15	J	18100	9,24E+19
2	Lluvia, geopotencial	1,34E+16	J	10100	1,35E+20
3	Viento, energía cinética	4,93E+16	J	1467	7,24E+19
R (Flujo renovable)				2,27E+20	
ENERGÍA RENOVABLE AUTOCTONA					
4	Producción agrícola	5,79E+14	J	336000	1,94E+20
5	Ganadería	1,06E+14	J	3360000	3,58E+20
6	Pesca (Acuicultivos)	3,34E+11	J	3360000	1,12E+18
7	Extracción forestal	1,96E+16	J	22100	4,34E+20
FUENTES NO RENOVABLES EN EL SISTEMA					
8	Extracción de arena	5,72E+10	g	1310000000	7,49E+19
	Extracción de arcillas	4,32E+09	g	1960000000	8,47E+18
9	Pérdida de suelos (PS)				
	PS Centro Poblado y otros usos	3,44E+15	J	106000	3,64E+20
	PS Rural agropecuario	5,04E+14	J	106000	5,35E+19
	PS Rural bosques	1,91E+12	J	106000	2,03E+17
N0. Flujos Dispersos				6,71E+20	
N1. Flujos Concentrados				8,34E+19	
N Flujos no renovables				1,49E+21	
RECURSOS IMPORTADOS					
10	Recursos importados (F)				8,26E+20
	Electricidad	2,50E+14	J	1,70E+05	4,24E+19
	Transferencias	\$ 92.266.000.000,00	\$		1,31E+20
	Costos producción Agrícola	\$ 150.096.112.335,87	\$		2,13E+20
F (Flujos importados)				8,26E+20	
Uso total = No + N1 + R + F				2,54E+21	
VALORES DE ENTRADA AL MODELO DE CALCULO Y REFERENCIAS					
Área	km2	m2	ha		
	626,0784	626078400	62607,84		SIGOT
RECURSOS RENOVABLES					
Nota	Fuente/Flujo	Ecuación y notas			Referencia
1	ENERGÍA SOLAR				
	Recibido (J) = (Energía que llega al sistema)	(radiación promedio)(área)(365días/año)(Factor de conversión a J)			Odum, 1996
	Absorbido (J) = (Energía usada en las transformaciones en los sistemas bajo estudio)	(Recibido)(1-albedo)			
	Pitalito se encuentra en las franjas de 3,5 a 4,5 kWh/m2día, obtenido por cálculo de isolinéas en Atlas de radiación solar IDEAM				Ideam, 2016
	Radiación promedio	4,36 kWh/m2día,			NASA, EOS, 2016
		Albedo	0,17		Nasa, EOS, 2016
	Energía solar recibida	3,59E+18			
	Energía solar absorbida	2,98E+18			
2	LLUVIA				

	Químico =	(área)(Precipitaciones)(densidad agua)(Energía libre de Gibbs)			Odum, 1996
	Geopotencial =	(área)(elevación media)(precipitaciones)(densidad)(gravedad)			
		Lluvia	4,52	1,6498	mm día - m año
		Elevación	1318		
	De acuerdo con el plan de desarrollo del municipio de Pitalito y el documento "Ruta de Cambio de Pitalito 2030 el valor medio de precipitaciones se ubica en la franja 1070-2700 mm/año. Se tomó el valor presentado por Nasa				Alcaldía Pitalito, 2015 Alcaldía Pitalito, 2016 NASA, EOS, 2016
	Lluvia – Químico	5,10255E+15			
	Lluvia – Geopotencial	1,3355E+16			
3	VIENTO				
	Energía viento =	(densidad)(Coeficiente arrastre)(velocidad viento)^3(área)(seg/año)			Odum, 1996
		Coeficiente arrastre	0,003	Sobre montañas	Campbell & Ohrt (2009)
		La velocidad del viento varía entre 0-3 m/s			Alcaldía Pitalito, 2016
		Densidad	1,3	kg/m3	Campbell & Ohrt (2009)
		Velocidad del viento	8,615125	m/s	NASA EOS, 2016
		Coeficiente arrastre	3,00E-03		Campbell & Ohrt (2009)
	Energía del viento	4,93E+16			
ENERGIA RENOVABLE AUTOCTONA					
4	PRODUCCION AGRICOLA				
	Producción agrícola =	(Producción total * Contenido energético)			Odum, 1996
	Producción agrícola	5,79E+14	J (Contenido energético de total de Producción agrícola)		Gobernación del Huila, 2016
5	GANADERIA				
	Ganadería = (Producción T)(factor conversión T a g)(factor energético - Cal/g)(4186 J/cal)				Gobernación del Huila, 2016
	Producción ganadera	1,06E+14			FAO, 2016
6	Pesca (Cultivos)				
	Energía Pesca =	(Producción T)(factor conversión T a g)(factor energético - Cal/g)(4186 J/cal)			Gobernación del Huila, 2016 FAO, 2016
	Pesca	3,34E+11			
7	Extracción forestal				
	Extracción forestal =	(Volumen extraído en M3)(factor conversión de m3 a cm3)(contenido energético promedio bosque 10176 j/cm3)			
	Extracción (ha) =	193	ha/año		Plan desarrollo 2016. Pitalito
	Extracción (m3) =	1930000	* Se aproximó el valor de superficie extraída a volumen		Campbell & Ohrt (2009)
	Contenido Energético Bosque (J/cm3) =	10176			
	Extracción forestal	1,96397E+16			
FUENTES NO RENOVABLES EN EL SISTEMA					
8	Extracción minera				
	Contenido energético =	masa de material extraído * energía disponible			Campbell & Ohrt (2009)
	- Arena	21580	m3	2650 kg/m3	DNP, 2016b
	- Arcillas cerámicas	3312	T		
	- Arcillas ferruginosas	1010	T		
	Energía Disp. Arena	1,31E+09			Campbell & Ohrt (2009)
	Energía Disp. Arcillas	1,96E+09			
	Contenido energético Arena	7,49E+19			
	Contenido energético Arcillas	8,47E+18			
9	Pérdida de suelo				
	Perdida de suelo =	(área)(erosión)(fracción orgánica)(energía)			Campbell & Ohrt (2009)

	- Uso Agropecuario	20660	ha	2,07E+08	DNP, 2016 ^a
	- Centros poblados y otros usos	2112	ha	2,11E+07	
	-Bosques	17610	ha	1,76E+08	
	Erosión en Pitalito	De acuerdo con el Instituto geográfico Agustín Codazzi, la erosión en el municipio se encuentra entre valores inexistentes, no apreciables y moderada que corresponde a una pérdida entre 0-100 T/ha anuales			IGAC, 2016
	Erosión =	27	- Se asume un valor moderado de acuerdo con la proporción de áreas analizadas por IGAC		
	Materia orgánica	4%	Entre 1000 y 2000 msnm en el Departamento del Huila se encuentran contenidos medios de materia orgánica definidos entre 3,1% a 5,0%		
	Erosión Centro poblado	Se usa el modelo de cálculo propuesto por Agostinho (2016)			Agostinho y otros, 2016
	energía pérdida de suelo centro poblado (sej/año) =	área urbana (m2/año) * profundidad fértil (0.15m) * densidad suelo (1200 kg/m3) * materia orgánica (4%) * intensidad energética de la materia orgánica (5400 kcal/kg; Odum 1996) * 4186 J/kcal			
	Pérdida de suelo Centro poblado	3,44E+15			
	Pérdida de suelo Bosques	El mapa de erosión de IGAC ubica la erosión en zona de reserva entre no existente y no apreciable. Se asume un valor de 0,12 T/ha derivado de la literatura			IGAC, 2016
		Erosión	0,12		
		Contenido energético	22604	J/g	Campbell & Ohrt (2009)
	Pérdida de suelo bosques – Bosques	1,91067E+12	J		
	Pérdida de suelo agricultura y ganadería	5,04359E+14			
RECURSOS IMPORTADOS					
10	F	ID=0,2516*(DD) ^{^1} ,0451	Intensidad de importaciones		Agostinho y otros, 2016
		DD = Densidad del desarrollo. USD/km2. PIB del territorio por su área			
		F=ID*área*EMR	EMR = Emergy to money ratio (Tasa emergía-Dinero)		CEP, 2016
			Para Colombia EMR = 3,9E+12		
	1,26E+12	PIB Pitalito			
	4,58E+08	PIB en USD	2015	2746 \$/USD	Banco de la república
	7,31E+05	PIB(USD)/AREA			
	3,90E+12	EMR Colombia			CEP, 2016
	2,75E+21	U			
	ID	338147,09			
	F	8,26E+20			
10,1	Electricidad				
	Energía Electricidad =	Consumo * Transformidad			Gobernación del Huila, 2016
		Consumo total	69.324.113	kWh/año	
	Consumo (J)	2,4956E+14			
10,2	Transferencias				
	Energía Transferencias =	Dinero en transferencias * EMR			DNP, 2016 ^a
		\$	92.266.000.000,00		
		emUSD	33594395,7		
	Energía Transferencias	1,31E+20			
10,3	Costos de producción agrícola (CP= Costos de producción)				
		Energía CP agrícola =	Costos de producción * EMR		Campbell & Ohrt (2009)
		Costos de producción =	\$ 150.096.112.335,87		Gobernación del Huila, 2016

	CP emUSD =	\$ 54.659.909,81			
	Emergía CP	2,13E+20			

El uso total de emergía es de 2,54E+21 sej, donde el principal aporte se concentra en el uso de los recursos autóctonos (incluyendo la explotación no renovable de los recursos naturales) con un 59%, seguido de los flujos importados, con un 32% y por último un aporte de 9% de los recursos geo-biofísicos que componen el territorio, demostrando el alto grado de dependencia del mismo a sus recursos autóctonos; el análisis detallado de los flujos se muestra a continuación.

Flujos renovables (R)

El propósito de establecer una base de flujos renovables en el estudio de un sistema ETD es evaluar el grado en el cual las fuentes renovables de la tierra se han concentrado en el área bajo estudio y su aporte al desarrollo (Campbell & Ohrt, 2009). El principal flujo renovable (R) calculado corresponde a la lluvia⁷, que en su potencial químico y geológico aporta a los siguientes procesos (Odum, 1996; Agostinho y otros, 2016):

- Formación del paisaje
- Distribución de sedimentos
- Distribución del agua a través de la vegetación
- Aporte al proceso de fotosíntesis y crecimiento de biomasa
- Control térmico del territorio

Siendo entonces el agua, el principal flujo de aporte a la productividad orgánica de los sistemas agrícolas, pecuarios y forestales en el territorio, teniendo un valor de interés público mucho más alto que el valor económico que se pueda pagar por esta (Odum, 1996) y demostrando, además, la importancia del uso racional y el cuidado del recurso.

Para los casos analizados, este flujo representa en total un aporte de 2,27E+20 sej para Pitalito, aunque es importante resaltar también los aportes de radiación solar, con un total

⁷ Se toma el mayor valor de los flujos totales que componen el análisis de los flujos R para evitar la doble contabilidad (Odum, 1996)

3,60E+18 sej absorbidos y el alto potencial eólico, para el desarrollo de proyectos de energización.

Flujos renovables autóctonos

De acuerdo con los resultados se puede apreciar que el mayor flujo energético de sectores productivos que utilizan fuentes de energía renovable primaria para la producción de algún tipo de energía secundaria, corresponde a la explotación forestal, representando el 44%. La cobertura boscosa alcanza aproximadamente un 28% del municipio con un área de bosques calculada en 17.610 ha. (Alcaldía de Pitalito, 2016) (Departamento Nacional de Planeación, 2016a), siendo las principales causas de pérdida de cobertura los procesos de “leñateo” para cocción de alimentos, la apertura de áreas para nuevos cultivos, incendios de cobertura vegetal y amenazas como la variabilidad climática y el proceso de desarrollo vial y crecimiento poblacional del municipio. Aunque en el plan de desarrollo se hace mención al riesgo asociado con la pérdida de bosques debido a la proliferación de cultivos ilícitos, de acuerdo con la oficina de Naciones Unidas contra las Drogas y el Delito –UNODC- en el monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos en 2015, no se presentaban en el Departamento de Huila grandes afectaciones por este flagelo (UNODC, 2016).

Además del impacto potencial en el uso de flujos energéticos provenientes de la explotación de recursos forestales, el análisis muestra una importante participación de la producción agrícola con un aporte de 1,94E+20 sej (20% de los flujos), así como la producción pecuaria, que representa el 36%.

Con base en los datos de producción, rendimiento y área cultivada obtenidos de Agronet (Ministerio de agricultura, 2016) es posible establecer que entre los años 2007 y 2014 el área total tuvo un crecimiento de 6.977 ha que representan, en los 7 años analizados un incremento del 11,1% del uso de los territorios en la expansión de actividades agrícolas. Una mirada más profunda a los datos que conforman esta evolución muestra cómo el cultivo de cafetos es el principal aportante en el uso de la tierra, así como el principal consumidor de flujos energéticos de fuentes autóctonas con un aporte en el incremento del uso de la tierra de 8.838 ha, mientras el maíz tradicional y la yuca disminuyeron su

extensión (1.130 y 530 ha respectivamente). La Figura 12 muestra el aporte energético de los cultivos existentes en el municipio.

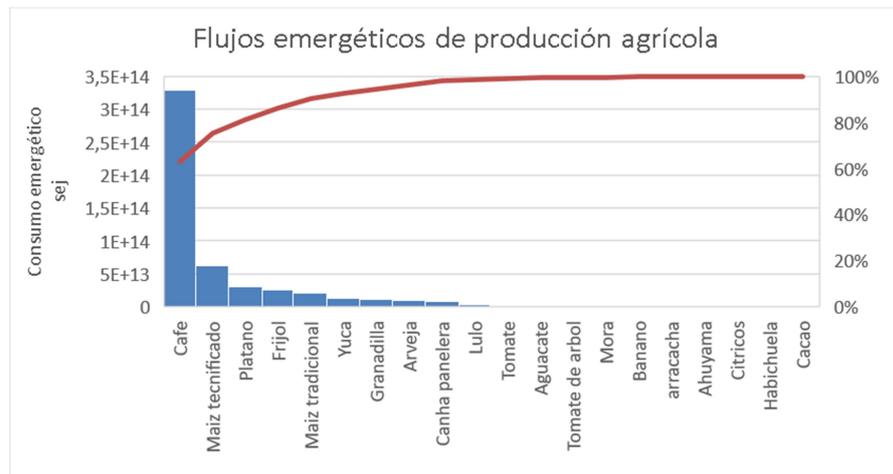


Figura 12. Aporte energético por cultivos censados. Fuente. Elaboración propia con datos de Ministerio de Agricultura (2016).

En el caso particular del cafeto es evidente la asociación entre el consumo energético y las condiciones socioeconómicas existentes. Posterior a la bonanza cafetera del año 2008, cuando la tendencia iba en aumento, se sucedieron periodos de crisis en 2009 y 2010 que incluyeron una caída en la producción y problemas propios de los cultivos como la roya y el invierno hasta retomar el proceso de crecimiento en el año 2011 (Ríos, 2013). La Figura 13 muestra el aporte energético del proceso de producción de café para el periodo analizado.

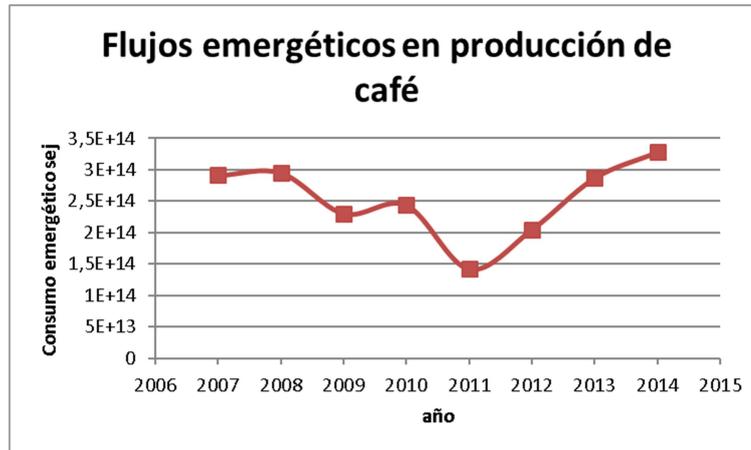


Figura 13. Consumo energético del cultivo de cafetos (sej) en el periodo 2007-2014.

Los consumos de la producción pecuaria de acuerdo con el sistema de información regional del Huila representan el 36%, siendo el principal producto la ganadería con una producción de 4.388 toneladas (Gobernación del Huila, 2016). La ganadería de leche alcanzó una producción de 7.327.740 litros de leche al año con un aporte energético de 5,26308E+13 sej. En porcinos, se encontraron datos de sacrificio de 3.600 animales, con una producción de 302 toneladas de carne (Gobernación del Huila, 2016).

Se muestra también la evolución en el número de cabezas de ganado y el contraste de la tendencia frente a la producción del Departamento del Huila, haciendo notar, que en las fuentes analizadas no existen referencias de uso de sistemas silvopastoriles, existiendo una dedicación exclusiva de áreas al cultivo de pastos y praderas para el cuidado del ganado.



Figura 14. Evolución del número de cabezas de ganado. Fuente: Elaboración propia con base en registros de SIR Huila y Secretaria de Agricultura y Minería.

El análisis del cambio global en el uso de la tierra para pasturas presento un comportamiento positivo; sin embargo, tal como se puede apreciar, incluso en el Departamento la tendencia es coincidente con las etapas de crecimiento y decrecimiento de la producción de café ya analizadas, aunque no existe suficiente evidencia para demostrar una relación causal entre la crisis agrícola y el cambio de vocación en el uso de la tierra. Al respecto existen estudios que soportan esta dinámica en torno a procesos de intensificación de los procesos de explotación, provocando cambios profundos en la forma de trabajar la tierra (Barkin, s.f).

Flujos no renovables

Los recursos no renovables consisten en materiales almacenados, “construidos” o formados por la naturaleza durante periodos muy largos de tiempo (en el orden de miles y millones de años) y que son usados en actividades humanas en tasas más rápidas que su proceso de renovación natural (Campbell & Ohrt, 2009). Los flujos energéticos de recursos no renovables incluyen, aunque no se limitan a, la pérdida de suelos por erosión y el flujo de productos derivados de la extracción como el carbón, el gas natural, petróleo, minería y metales; en el análisis de sistemas duales (urbano-rural) la experiencia ha

mostrado que la mayor influencia procede normalmente de los procesos de pérdida de suelo debido a la urbanización, y la utilización rural (Agostinho y otros, 2016). En este estudio se integran el análisis de flujos debidos a la extracción minera y la pérdida de suelos. Aunque la extracción de recursos no tiene un alto grado de representación en la economía del territorio (Alcaldía de Pitalito, 2016) la intención es caracterizar el mayor número de procesos representativos de la dinámica territorial que puedan constituir un efecto negativo sobre el medio ambiente debido a la degradación del recurso.

La pérdida de suelos se analiza a partir del modelo de Agostinho y otros (2016) que considera la impermeabilización de suelos y su pérdida total de funciones ecosistémicas como la producción de alimentos y soporte vital a diferentes especies debido a la urbanización del mismo, así como las pérdidas vinculadas con los procesos agropecuarios y la existencia de zonas de amortiguación y reserva. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación, en el sistema general de regalías existen reportes de extracción de arcillas (cerámicas, ferruginosas y misceláneas) arena y gravas de río y recebo (Sistema Nacional de Regalías, 2016), materiales importantes no solo en el desarrollo de actividades extractivas, sino también transformativas en la elaboración de ladrillos y tejas artesanales (Alcaldía de Pitalito, 2016).

El suelo es un recurso natural finito, que aporta en más del 90% de los alimentos consumidos en el mundo, así como sirve de soporte a procesos vitales y diversos servicios ecosistémicos (IDEAM, s.f); el análisis de este flujo particular es importante dado que el fenómeno de la erosión disminuye el valor de los activos de capital natural en el territorio (Campbell & Ohrt, 2009). Para el departamento del Huila existe el estudio general de suelos realizado por el IGAC en el año 1994 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1994) e igualmente se encuentran datos disponibles en el sistema de información geográfico para el ordenamiento territorial de la misma institución (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016), en ambos casos se puede evidenciar al sur del Departamento una presencia de grados “sin erosión” a “moderada”. La Figura 15, muestra el mapa de zonificación de suelos por grado de erosión desarrollado por el Ideam (IDEAM) y disponible en el Sistema de Información Ambiental –SIAC (Sistema de información ambiental de Colombia, 2016), donde es posible apreciar esta misma tendencia en relación con los niveles de erosión de suelos en la zona de Pitalito.



Figura 15. Extracción del mapa de erosión en el Departamento del Huila. Fuente: SIAC.

El cálculo de consumo energético por pérdida de suelos muestra que el principal flujo no renovable corresponde a la pérdida asociada a la urbanización que representa más del 85% aunque en la literatura no es completamente claro el efecto de la urbanización respecto a los efectos positivos o negativos en la dinámica sostenible de los territorios. Long y Ulgiati (2016) analizando el problema evidencian que el proceso de urbanización podría acelerar la demanda energética y la emisión de gases efecto invernadero, mostrando que el proceso de urbanización puede tener efectos particulares en la eficiencia energética territorial.

La pérdida de suelo en procesos agropecuarios tiene un costo de $5,35E+19$ sej cuyo efecto a largo plazo podría demandar un mayor flujo energético de recursos importados para compensar las pérdidas en este rubro. Dada la importancia económica de los procesos agrícolas en el municipio, que muestran el alto impacto del café en la dinámica productiva, económica y social, a continuación, se muestra la evolución de los flujos en este rubro dada la evolución en el área dedicada a cultivos y la producción de café.

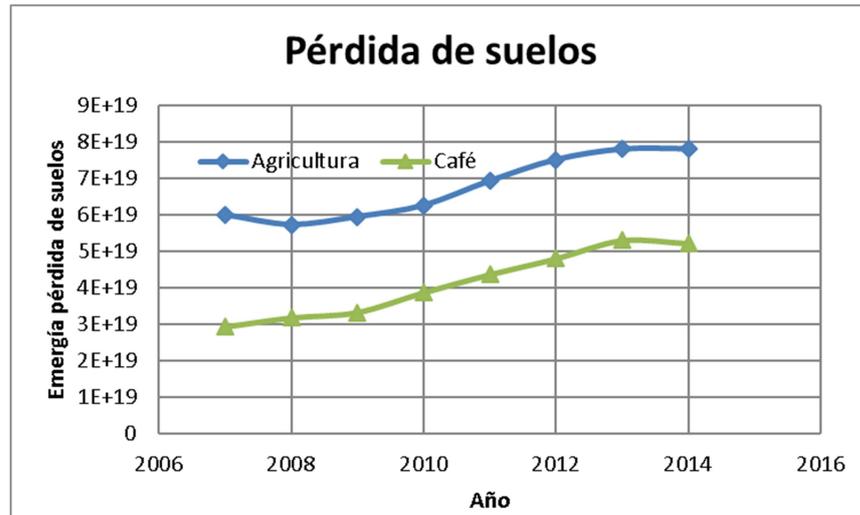


Figura 16. Evolución del consumo energético debido a pérdida de suelo en agricultura y al café.

Flujos importados (F)

En la aplicación de un modelo de síntesis energética los recursos importados (F) incluyen electricidad, uso de combustibles, minerales, servicios y productos importados en la dinámica del territorio. Este apartado es de gran importancia en el análisis de eficiencia energética de los sistemas ETD, dado que el consumo de recursos importados corresponde a la fracción subsidiada, o el aporte extra que requieren los sistemas para el incremento de la productividad, el cual representa un importante aporte en los costos ambientales, los impactos y la competitividad de los sistemas (Jordan, 2013).

Sin embargo, dada la dificultad de encontrar datos específicos sobre estos elementos en territorios pequeños o municipalidades, se hace necesario el uso de mecanismos alternativos de análisis, Agostinho y otros (2016) a partir de la propuesta de Odum y del uso de monogramas relacionados con la densidad del desarrollo plantearon un modelo matemático que aproxima a nivel global las relaciones entre el producto económico (Producto interno bruto del territorio), el área y la población, con el consumo de recursos.

De acuerdo con cifras publicadas por el DANE (DANE, 2015) en el año 2015 el valor agregado del municipio de Pitalito fue 1.257 miles de millones. Este cálculo de valor agregado es equivalente al PIB municipal, y se define como el valor adicional que adquieren los bienes y servicios al ser transformados durante el proceso productivo

(Gobernación de Cundinamarca, 2014). A partir de estos datos, se determinó el consumo de recursos importados:

Flujo de recursos importados (F): 8,26E+20 sej

Aunque el flujo calculado mediante el modelo de Agostinho da una relación Proxy de los ingresos al sistema en la dinámica del análisis de flujos energéticos, es interés de este trabajo analizar adicionalmente otros flujos de entrada conocidos para identificar relaciones de dependencia e influencia en la dinámica de generación, uso y eficiencia energética de los territorios. Es por esta razón, que además de analizar el flujo F total, se incluyeron los cálculos de los siguientes recursos importados:

- Recursos de transferencias
- Consumo de electricidad
- Uso de insumos para agricultura

El consumo de energía fue aproximadamente 69,3 MWh en el año 2015, con una participación del sector residencial del 60% del consumo y 30% en el sector comercial; adicionalmente gracias al sistema de información regional del Huila –SIRHUILA, se identificaron consumos en los sectores industrial, riego, alumbrado público y uso de energía en áreas comunes (Gobernación del Huila, 2016). En transferencias, 92 mil millones de pesos destinados en el sistema general de participación para el 2015, el perfil se enfoca en cerca del 60% de los recursos destinados a educación, siguiéndole en importancia los procesos de prestación de servicios y salud (DNP, 2016a).

En cuanto a los costos de producción agrícola, el consumo de recursos fue calculado en cerca de 147 mil millones de pesos, que, comparados con el PIB municipal, representan el 12% del mismo. Se aprecia que el transporte, con un 9% y el cultivo de café con un 8% son representativos de este resultado, demostrando el impacto potencial de la eficiencia en los procesos vinculados con este último en la dinámica y la sostenibilidad del territorio (Gobernación del Huila, 2016).

4.2.3. Balance e indicadores energéticos agregados

Los flujos energéticos agregados son mostrados en la siguiente figura, en ella se puede apreciar los valores totales de los flujos agregados que ingresan al sistema territorial

analizado: Recursos renovables (R), Recursos no renovables (N_0 , N_1) y los Recursos importados (F).

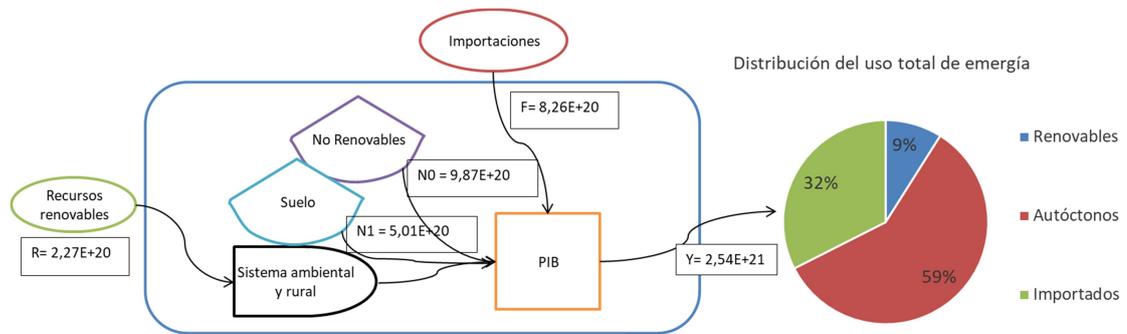


Figura 17. Resumen de flujos en el municipio de Pitalito.

El mayor consumo en la dinámica económica, social y productiva está compuesto por los flujos dispersos (N_0) que en este caso particular está relacionado con la actividad agrícola productiva en los territorios. Un efecto particular de este aspecto se nota en el valor obtenido por los flujos concentrados (N_1) que dejan de manifiesto el alto costo energético relacionado con la pérdida de suelo y los procesos erosivos asociados con la explotación agrícola y ganadera. Igualmente, se calculó la tasa de dinero a energía (Emergy Money Ratio EMR) que representa el consumo de energía por unidad monetaria, o el soporte emergético del sistema en la generación de valor y su aporte a la economía que, tomando como base el valor promedio del dólar que se ubicó en \$2.746, da un valor de $5,55E+12$ sej/USD y permite además para cada flujo el cálculo del valor económico del mismo en la realización de un producto, como se verá en el siguiente capítulo. En la Tabla 4 se muestra el resumen de los indicadores calculados.

Tabla 4. Indicadores emergéticos

Indicador	Expresión	PITALITO
Flujo renovable	R	2,27E+20
Explotación de reservas renovables	N	1,49E+21
Flujo importado	F	8,26E+20
Consumo total de energía (Y, U)	N_0+N_1+R+F	2,54E+21
Fracción derivada de fuentes locales	$(N_0+N_1+R)/U$	0,68
Fracción renovable local	R/U	0,09
Fracción comprada	$(F)/U$	0,32

Fracción libre	$(R+N0) / U$	0,48
Consumo por área	$U / (\text{área ha})$	4,06E+16
Consumo per cápita	$U / \text{población}$	2,02E+16
Emergy Money Ratio	$U / \text{PIB municipal}$	5,55E+12
Tasa de carga ambiental (ELR)	$(\text{Imp} + N0 + N1) / R$	10,18
Relación de rendimiento (EYR)	$U / (N0 + N1 + F)$	1,10
Sostenibilidad emergética (ESI)	EYR / ELR	0,11

Para el análisis de eficiencia se tomaron los principales indicadores de rendimiento reseñados en la literatura relacionada con la síntesis emergética. Los resultados obtenidos se explican a continuación.

El índice ELR evalúa el balance entre los recursos no renovables y renovables consumidos en el territorio, dando como resultado que, a mayores valores, menor es la sostenibilidad del sistema bajo estudio. Este valor se hace más grande en la medida en que se concentra una mayor actividad económica en los territorios, encontrándose valores superiores a 1000 (Brown & Ulgiati, 2001). El resultado obtenido (10,18), en este contexto puede ser entendido como una tasa de carga baja que evidencia el valor clave que representan los recursos naturales en los sistemas territoriales analizados (Vega y otros, 2013). En los cuales, ya se ha demostrado el peso específico del café en esta dinámica.

La tasa de rendimiento emergético (EYR) permite medir en qué nivel los procesos existentes en el territorio contribuyen con su desarrollo energético, vinculando el consumo emergético total, contra la importación de recursos desde fuera del sistema. Valores mayores a 1, indican que estos tienen la capacidad de sustentarse en recursos locales para generar beneficios netos a la sociedad (Ren, Manzardo y otros, 2013).

El índice de sostenibilidad emergética (ESI) es un indicador que agrega el rendimiento y la carga ambiental del sistema bajo análisis, permitiendo evaluar las posibilidades de desarrollo sostenible del mismo (Guan y otros, 2016). A pesar de que en el contexto estudiado los valores obtenidos en el cálculo de los indicadores ELR y EYR muestran un panorama positivo, se evidencia también un bajo valor de sostenibilidad emergética (0,11). Un índice de sostenibilidad emergética menor a 1 indica un problema temporal para los territorios analizados, ya que explica que los productos y los procesos no son sostenibles en el largo plazo, (Ren, Manzardo y otros, 2013).

CAPÍTULO 5: DESARROLLO SOSTENIBLE, EFICIENCIA ENERGÉTICA E IMPACTOS AMBIENTALES EN EL PROCESO PRODUCTIVO DEL CAFÉ

5.1. INTRODUCCIÓN

La relación entre los sistemas ETD y la sostenibilidad ha sido una constante analizada a lo largo de este trabajo. El desarrollo sostenible, como objetivo y resultado de las actividades económicas, productivas y ambientales en las estructuras sociales de los territorios, se vincula de manera directa con el nivel de eficiencia energética y el impacto ambiental de estas. A partir del análisis general de Pitalito en cuanto a la relación producto - consumo de energía fue posible identificar una actividad particular de alto impacto en las diferentes dimensiones de la sostenibilidad: la producción de café es el principal proceso del territorio, con un aporte del 8% del producto interno bruto que representa no solo una actividad de impacto sobre la dinámica productiva, sino también un componente importante en la estructura social del municipio, siendo el principal producto, representante de la vocación agrícola y determinante de la identidad del territorio (Ordoñez y otros 2013).

La producción de café representa el 16,4% del total de consumo energético en el municipio de Pitalito que, analizado según las fuentes de origen, representa un 32% del total de flujos renovables, 8% de los flujos no renovables y 20% de los flujos importados según sus costos de producción promedio donde su impacto en el total de emisiones del Departamento representa cerca del 30% debido principalmente a emisiones asociadas con el uso de fertilizantes y el transporte del producto (MCCH, 2016).

Dada entonces la importancia específica de este proceso en las dimensiones ambiental, social y económica del territorio, se analizaron de manera más profunda los flujos energéticos vinculados a su proceso productivo con el objetivo de evaluar en el menor nivel de detalle (fincas y lotes) los factores de eficiencia e impactos ambientales. Para lograr este propósito este trabajo se divide en tres partes:

- Descripción general de los territorios evaluados y sus procesos;
- Síntesis energética en los procesos vinculados a la producción de café;
- Evaluación de eficiencia energética mediante el modelo DEA;

Los resultados permitieron identificar una estrategia general para el incremento de la eficiencia en los cultivos, así como los patrones y el comportamiento de los territorios eficientes. Así mismo se describieron las generalidades de los territorios ineficientes y se identificaron valores potenciales de mejora en sus procesos.

5.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS ANALIZADOS

5.2.1. Análisis descriptivo

En Pitalito se analizaron 252 encuestas a productores, cubriendo un área de 1.054 ha correspondientes al 5,23% del total de terreno del municipio dedicado al cultivo del cafeto, representando 77 de las 131 veredas que lo componen. En el grupo analizado, el 95% de los casos corresponde a cultivos convencionales y el porcentaje restante a orgánicos con 41 productores dedicados a este tipo de cultivo; respecto al tamaño las fincas analizadas se encuentran en un rango comprendido entre 1 y 40 hectáreas donde el 70% de los productores son pequeños con un área menor a 2,2 ha de terreno. En la Figura 18, se muestra la distribución del tamaño de las fincas analizadas.

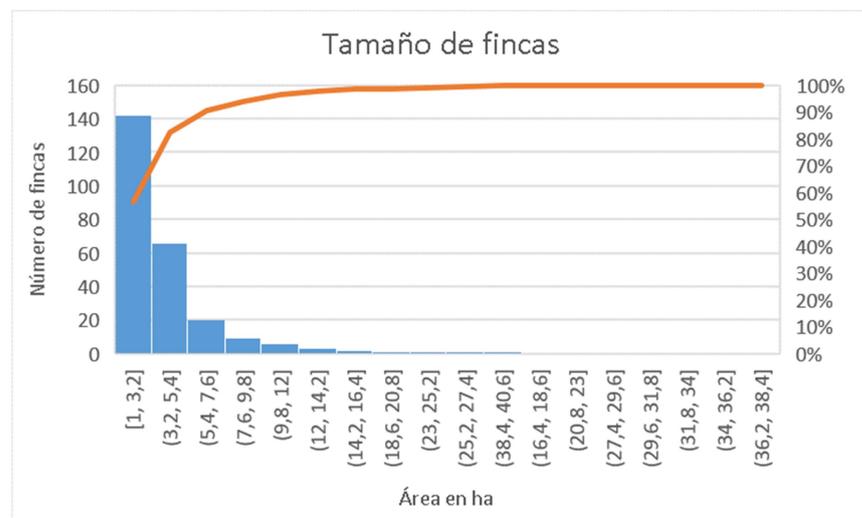


Figura 18. Distribución del tamaño de las fincas analizadas.

Todas las condiciones generales descritas anteriormente ponen en evidencia la necesidad de desarrollar estrategias para el máximo aprovechamiento del territorio en función de los objetivos particulares de cada productor, buscando la maximización económica de los rendimientos de los cultivos, en un modelo que permita además lograr el mínimo impacto ambiental y el mayor rendimiento energético para garantizar la sostenibilidad de esta actividad que representa la mayor fuente de ingresos de los pequeños productores a nivel individual y además corresponde con la mayor actividad productiva del territorio analizado. Respecto a las características de cultivo existentes en la zona; en esta etapa se analizan variables como la altitud de las fincas, la relación entre los productores y las asociaciones, así como la dinámica productiva.

Inicialmente se identificaron dos variedades de café en la estructura productiva: Castillo, con 2.060.990 cafetos que corresponden al 62% del total de árboles sembrados y Caturra, con 1.249.681 cafetos, ambas variedades son clasificadas como de porte bajo y favorecen la siembra en altas densidades con hasta 5.000 plantas en cultivos en sombra y 10.000 en sol (Arcila, 2007). En la figura siguiente se muestran los resultados obtenidos en el análisis de la dinámica de los cultivos de cafetos en Pitalito.

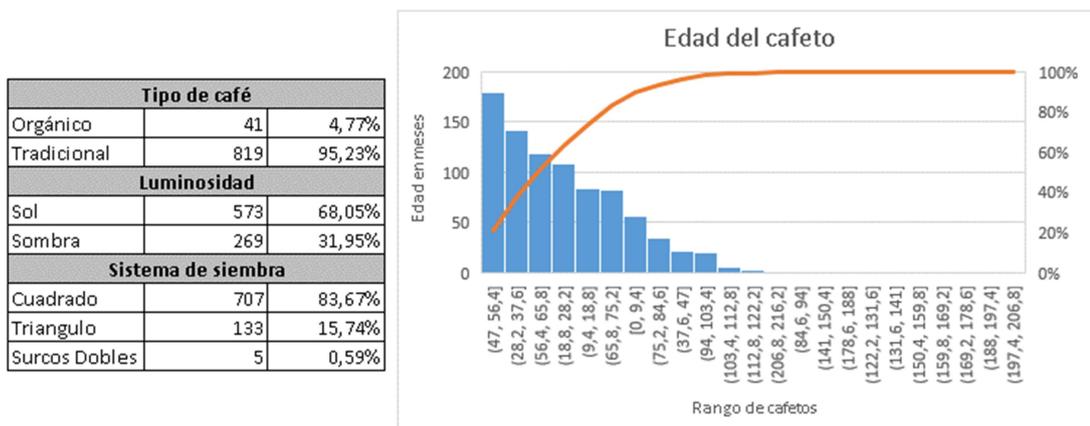


Figura 19. Valores descriptivos de los lotes analizados.

El café es un arbusto con tiempo de vida entre 20-25 años, que inicia su producción de frutos alrededor del segundo año y alcanza su mayor nivel de productividad entre los 6 y 8 años (Arcila, 2007). En el muestreo analizado (Figura 19) se ve la distribución de

frecuencias en la edad de los arboles existentes. Más del 50% de los cafetos se encuentran en una edad superior a los 18 meses (1,5 años) y el 60% está ubicado en la franja de 28 a 65 meses (2,3 a 5,4 años) lo que indica que los territorios analizados aún no alcanzan su mayor nivel productivo y además implica que existe un alto potencial de implementación de estrategias de eficiencia y disminución de impactos en combinación con la productividad de los cafetos.

5.3. MODELO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS

El modelo de medición y análisis, como ya se ha anotado, se basa en la integración de la síntesis emergética y el análisis envolvente de datos, con esto se pretende evaluar la interrelación de los diferentes elementos de la ETD en los sistemas bajo estudio. La Figura 20, muestra el resumen general del modelo diseñado y en las secciones siguientes se muestra su aplicación práctica en el caso de estudio seleccionado.

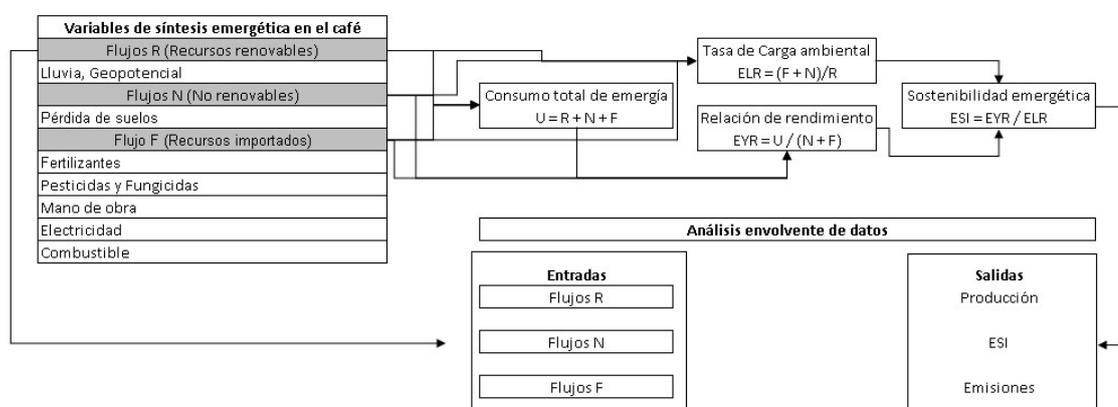


Figura 20. Descripción general del modelo

El modelo de análisis integrado de eficiencia energética para territorios cafeteros parte de la aplicación de un modelo de síntesis emergética en los cultivos objeto de estudio. Dado que los resultados de esta etapa se integran en el análisis envolvente de datos, se requiere una muestra mínima de 18 territorios productores para cumplir la regla de la cantidad mínima de Unidades tomadoras de decisión (DMU's) analizadas, la cual establece que:

$$n = 3(\# \text{ Variables de entrada} + \# \text{ variables de salida})$$

La figura 20 muestra las principales variables analizadas en el proceso de síntesis energética para los territorios cafeteros, así como las ecuaciones que dan soporte a los cálculos de estas.

Para el análisis envolvente de datos se propone la aplicación de un modelo tipo DEA-BCC orientado a entradas y con retornos variables a escala, esto significa que con el modelo aplicado se persigue encontrar la máxima reducción posible en el vector de entradas (flujos energéticos) mientras permanece la dinámica de producción de los territorios (fincas). Bajo este modelo, una finca no es eficiente si es posible disminuir el uso de sus flujos energéticos sin alterar su producción, su índice de sostenibilidad ambiental o sus emisiones.

En este modelo se van a evaluar n DMU's (fincas). Cada una consume diferentes cantidades de las e entradas (flujos energéticos) para producir s salidas. La DMU _{j} consume una cantidad X_{ij} de la entrada i y genera una cantidad y_{rj} para la salida r . de esta manera para medir el desempeño de la DMU₀ se plantea un problema de optimización que busca maximizar la eficiencia técnica relativa de esta.

Se define la eficiencia técnica relativa de las fincas como la relación entre la suma ponderada de las salidas y la suma ponderada de las entradas

Como se tienen para este modelo múltiples entradas y salidas se generan una salida y una entrada virtual que son ponderadas con los factores u_r y v_i respectivamente. Estos factores u y v representan los pesos o ponderaciones de las entradas y salidas y son calculados automáticamente en la solución del modelo, por lo cual se evita el problema de la subjetividad en la ponderación de los factores de entrada y salida.

Con estos elementos en cuenta se tiene un problema no lineal que busca obtener el conjunto de factores de ponderación u y v que maximicen la eficiencia relativa EFI de la DMU₀. Sujeto a la restricción de que ninguna finca en este caso puede obtener una eficiencia mayor a 1.

Con estas consideraciones se tiene entonces que:

$$Max\ EFI_0 = \frac{\sum_r u_r y_{r0}}{\sum_i v_i x_{i0}}$$

Sujeto a:

$EFI_r \leq 1$ para todo j

$U_r, v_i \geq 0$ para todo r,i

Se introduce una restricción adicional para linealizar el modelo y poder resolverlo en un espacio de soluciones finitas

$$Max\ EFI_0 = \sum_r u_r y_{r0}$$

Sujeto a:

$v_i x_{i0} = 1$

$EFI_r \leq 1$ para todo j

$U_r, v_i \geq 0$ para todo r,i

Si la solución óptima de este modelo es igual a 1, entonces la finca evaluada es eficiente en relación con las otras fincas bajo estudio, dado que según los parámetros del modelo no es posible encontrar ninguna otra entidad que pueda obtener las mismas salidas (producción ESI y emisiones) con un menor consumo energético.

Una consideración adicional de este modelo propuesto es que las emisiones deben ser consideradas una salida indeseada y por lo tanto, no se trata de un problema de maximización de las mismas, para esto, se aplica la transformación de salidas indeseadas propuesto por Zhu. El cálculo final de los resultados de eficiencia se realiza utilizando una aplicación diseñada de manera específica para este propósito, en este trabajo se propone la utilización de la herramienta DEA solver desarrollada para la plataforma Excel por Jablonsky (2008).

5.4. PROCESOS Y FLUJOS ENERGÉTICOS

5.4.1. Modelo sistémico del procesamiento de café

La **Figura 21**. Diagrama sistémico general de producción de café. Figura 21 muestra el modelo energético sistémico para el procesamiento de café en los territorios mostrando los principales flujos, componentes y conexiones. De izquierda a derecha en la parte exterior del sistema se pueden apreciar los flujos principales, iniciando con los recursos aportados por la naturaleza. En este capítulo se evaluará exclusivamente el aporte energético brindado por la lluvia, dado que para el territorio en general, este demostró ser el flujo principal que integra la totalidad de recursos aportados por los sistemas naturales a los procesos productivos, sociales y económicos en el sistema territorial (Campbell & Ohrt, 2009).

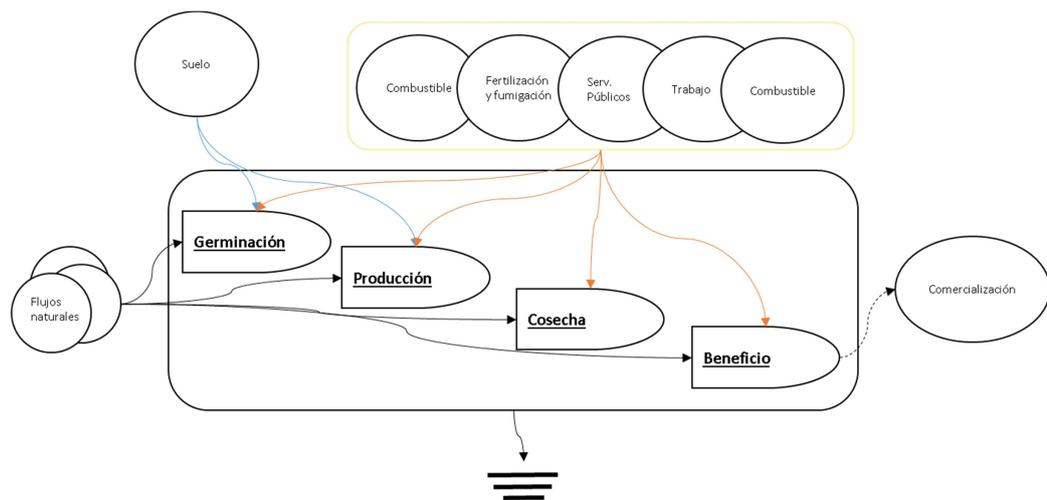


Figura 21. Diagrama sistémico general de producción de café

En la parte izquierda superior se puede apreciar el suelo que en este modelo corresponde al flujo de recursos no renovables, analizados tomando como base la existencia de estudios similares aplicados al proceso del café, buscando además la posibilidad de identificar patrones y valores de comparación contra resultados existentes aplicados al objeto de estudio, aunque implementados en diferentes escenarios geográficos como Nicaragua (Cuadra & Rydberg, 2006), Brasil (Giannetti, Ogura, Bonilla y Almeida, 2011),

Perú (Suca, Suca, & Siche, 2012) y Colombia (González, 2015). Los flujos importados corresponden con los recursos, servicios, productos, procesos, maquinaria y equipos que se vinculan al sistema territorial analizado (Brandt - Williams, 2002).

Dentro del diagrama se pueden apreciar tres procesos:

- Germinación: Realizado por el 46% de los productores, este proceso es la primera etapa del crecimiento vegetativo del cafeto y se realiza por un periodo entre 70 - 80 días, cuando se pasa la planta al almácigo. (CENICAFÉ, 2013a).
- Producción y cosecha: En esta etapa se consideran dos estados de crecimiento del cafeto. El levante, que corresponde a plantas menores a 16 meses y en producción que corresponde a plantas mayores (Arcila, 2007).
- Beneficio: Corresponde a las actividades pos cosecha, incluyendo despulpado, lavado, fermentado y secado.

En este estudio, sin embargo, solo se evalúan las etapas de producción, cosecha y beneficio, dada la dificultad de conseguir datos e información específica para el análisis de los consumos energéticos vinculados con los procesos en las etapas de germinación y almácigo.

Para el análisis cuantitativo de los flujos se tomó una submuestra de 99 fincas y productores, el criterio de selección corresponde a la disponibilidad completa de datos relevantes para completar el estudio de síntesis emergética dada la variabilidad en los índices de respuesta obtenidos en el trabajo de campo, cubriendo con este estudio un área de 396 hectáreas correspondientes al 0,63% del territorio y el 2% del área sembrada con cafetos.

5.4.2. Análisis emergético

En esta etapa se cuantificaron los principales recursos naturales, productivos y económicos que hacen parte del sistema territorial e interactúan en el proceso de producción del café. En primer lugar, se muestra el análisis por flujos y posteriormente se resumen los resultados para dar paso al estudio de los indicadores emergéticos y de sostenibilidad del proceso. En el anexo electrónico 3, se pueden encontrar las tablas individuales de cálculo y síntesis emergética para cada uno de los territorios evaluados.

Flujos renovables

El café como producto puede considerarse como el resultado de un proceso intensivo dependiente de la interacción entre diferentes flujos de recursos en tres categorías: ambientales, genéticas y de manejo, cuya integración favorece el incremento de la productividad del cultivo. Dentro de los factores ambientales, que pueden ser entendidos en el modelo de síntesis emergética como el flujo de recursos renovables, se incluyen la disponibilidad de energía, radiación y temperatura (CENICAFÉ, 2013b). En la Tabla 5 se muestra el efecto de los flujos naturales sobre la productividad del café.

Tabla 5. Condiciones ambientales y de productividad del café.

Condición/Variable	Efecto (CENICAFÉ, 2013b)
Disponibilidad de energía – Brillo solar	Relación directa entre brillo solar acumulado y producción acumulada de café, siendo variable su efecto según la densidad de siembra, el sistema de producción, y las condiciones del suelo
Radiación	Tiene un efecto directo en el área foliar y el crecimiento reproductivo de las plantas
Fotoperiodo	Estimulación de las yemas en su proceso de transformación en botones florales
Temperatura	Impacta en la duración de los procesos fenológicos y el desarrollo de los frutos
Disponibilidad hídrica	El déficit y el exceso hídrico influyen en la formación y salud de los frutos, la floración y el desarrollo foliar de los cultivos

De acuerdo con el análisis realizado en el municipio de Pitalito, el mayor flujo emergético se calcula a partir de los valores obtenidos por la lluvia, y su potencial transformador de los sistemas ambientales en sus dimensiones: química y geopotencial. Este valor, al corresponder al mayor flujo calculado, lleva integrado el efecto de las diferentes fuerzas geo-bio-físicas existentes en el territorio (Odum, 1996), por lo cual, la valoración del contenido emergético de la lluvia permite cuantificar el aporte total de la naturaleza por concepto de flujos renovables, aunque no permite distinguir el efecto independiente de cada flujo o condición ambiental. En la Tabla 6 se muestran las ecuaciones de cálculo aplicadas para este flujo.

Tabla 6. Ecuaciones de cálculo de flujos Renovables (Lluvia)

Factor	Ecuación
Lluvia _{Químico} =	(Área)*(Precipitaciones)*(densidad agua) * (Energía Libre de Gibbs)
Lluvia _{Geopotencial} =	(Área)*(elevación media) * (precipitaciones) * (densidad) * (gravedad)

Fuente: (Brown y otros, 1992)

En los 90 casos analizados, el 80% (68 fincas) de los flujos renovables totales se concentra en el rango comprendido entre $7,66E+14$ y $1,22E+16$ sej/año con un valor promedio de $1E+16$ sej/m², para entender un poco más este valor, se podría comparar la tasa de emergía a dinero calculada para el municipio de Pitalito en el capítulo 4, dando como resultado un aporte de la naturaleza equivalente a \$4.956.781 por productor en promedio, por cada año. En la Figura 22 se aprecia la distribución de frecuencias en el consumo energético de flujos renovables en la muestra analizada.

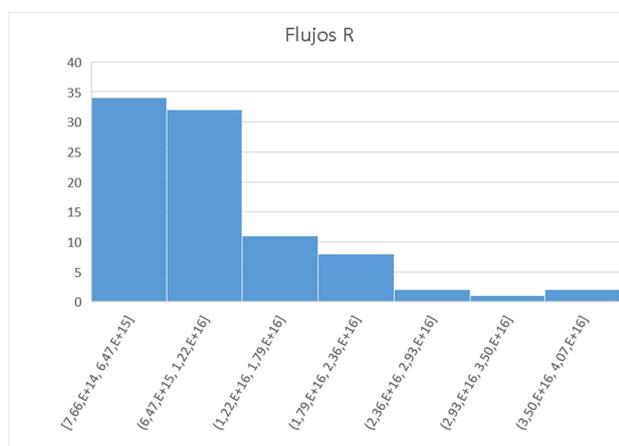


Figura 22. Consumo de recursos renovables (R).

Tal como se puede apreciar, existe una gran concentración de aporte en fincas de pequeños productores. Respecto al promedio solo 30 fincas (33,33%) tienen un consumo de flujos renovables superior, mientras el porcentaje restante (60 fincas, 66,67%) tiene consumos menores al promedio. El mayor valor obtenido en el estudio es $3,7E+16$ (\$16.891.528) para la finca 158, caracterizada por tener un tamaño de 12 ha, ubicada en una altura de 1563 msnm con 9,2 ha sembradas al sol en 8 lotes de cafetos y 45.000 plantas en etapa de producción con una edad promedio de 41 meses. Mientras el menor valor corresponde a la unidad muestral 292, caracterizada por estar ubicada a 1558 msnm, tener un tamaño de 4,5 Ha con solo 0,19 ha sembradas a la sombra en 3 lotes de cafetos que representan 886 con una edad promedio de 36 meses, combinando castillo y caturra, esta finca vende el 100% de su producción a empresas privadas y participa en

eventos de café especial, lo que puede explicar la baja densidad de siembra y área de producción.

Flujos no renovables (N)

En Colombia la pérdida de suelos se relaciona principalmente con la erosión hídrica, la formación de cárcavas, los movimientos de masa y la contaminación (CENICAFÉ, 2013b). En el caso del cafeto se han identificado diversos estudios relacionados con la pérdida de suelo que establecen una relación entre esta y los procesos erosivos naturales de la lluvia, pero también con causas antrópicas como la dinámica productiva particular del territorio, incluyendo el control de malezas (Gómez, 1986), el tipo de cultivo, las prácticas de labranza (Agudelo, Torrente y Vargas, 2015) y el manejo inadecuado de los recursos (Salazar e Hincapie, 2006).

Respecto a la constitución del suelo y la erosión, Pitalito se encuentra ubicado en el ecotopo 319A, localizado en el flanco occidental de la cordillera oriental; la unidad de suelo más representativa es Isnos, cuyo material parental es andesita hornbléndica con una fertilidad natural media, pendientes de medias a muy altas y una alta susceptibilidad a la erosión, lo que significa que la pérdida de suelos por precipitación es inmediata, siendo recomendable tener plantaciones en un sistema con sombra (CENICAFÉ, 2013b).

En el capítulo 4 se identificó un valor de erosión moderada de 27 ton/ha (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016). Sin embargo, este valor es promedio para la totalidad del territorio e incluye procesos como generación de pasturas, extracción de bosques, ganadería y minería, por lo cual es necesario identificar un valor de erosión y pérdida de suelo acorde a la dinámica productiva del cafeto y los territorios analizados, a partir del trabajo de González (2015), se determinó un valor de pérdida de suelo correspondiente a 5 tonha⁻¹año⁻¹ en policultivos y 20 tonha⁻¹año⁻¹ en sistemas intensivos. Igualmente, respecto a la pérdida de nutrientes un estudio de Cenicafé elaborado en los años 80 plantea diversos valores para la pérdida de minerales en el suelo, debido a la erosión según distintos escenarios de siembra. En este se encontraron valores entre 1 y 27 kg de minerales perdidos, incluyendo Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio en suelos desnudos o con cobertura y sombrío denso, demostrando una pérdida menor en cultivos con utilización de coberturas y sombra (Cenicafé, S.F). González (2015) en su estudio

cuantifica estos valores alrededor de $3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en policultivos y $15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en sistemas intensivos.

A partir de estos valores se calculó el flujo emergético debido a la pérdida de suelo y nutrientes, el cual se encuentra comprendido en el rango $9,38\text{E}+13$ sej y $1,82\text{E}+16$ sej, con un valor promedio de $3,4\text{E}+15$ sej, correspondientes a un aporte económico⁸ de \$1.630.480. Además del valor económico del aporte emergético del suelo a la producción, es importante destacar un elemento clave en la relación entre la pérdida de suelo y la productividad del café. Estudios llevados a cabo en Colombia, han logrado demostrar cómo el nivel de erosión afecta la productividad de los lotes cafeteros, con reducciones en el nivel productivo de las plantas hasta del 60% en casos de erosión severa, y el incremento de costos por la necesidad de integración de fertilizantes debido a la pérdida de nutrientes en el suelo (CENICAFÉ, 2013b), en el año 2015, los costos de la Urea, DAP y KCl para una hectárea de cafetos eran iguales a \$1.033.610 (Gobernación del Huila, 2016), sin tomar en cuenta los gastos de aplicación, lo que explica el alto nivel de eficiencia de la naturaleza en la distribución de sus aportes a los sistemas productivos.

En el análisis individual de los resultados, se encontraron 34 fincas con flujo energético debido a la pérdida de suelo y minerales mayor al promedio y nuevamente una coincidencia entre el menor flujo que corresponde a la finca 292 y el mayor en la finca 158 cuyas características ya han sido explicadas.

Flujos importados (F)

Los flujos importados, o flujos subsidiados (Jordan, 2013) identificados para el proceso productivo analizado incluyen: Fertilizantes, Pesticidas y Fungicidas, Mano de obra, Electricidad y Combustible. En este estudio por limitaciones prácticas de los instrumentos utilizados, y la dificultad de acceso a información específica, no se analizaron flujos subsidiados como servicios técnicos, administración de las fincas o empaques, sin embargo, se asume que el impacto general de los flujos estudiados es suficientemente

⁸ El aporte económico de los flujos energéticos se calcula a partir del valor EMR mostrado en la tabla 4, que corresponde a la relación de producción entre el consumo total de energía y el valor agregado del territorio, en este caso, el municipio de Pitalito.

fuerte para tener una idea general de la dinámica productiva y los consumos energéticos vinculados al proceso.

En el caso de los fertilizantes y el uso de insecticidas y fungicidas, se analizaron dos escenarios según el tipo de producción (orgánica o tradicional) de las fincas, aunque la gran mayoría de encuestas (85 casos de 90) muestran un enfoque en sistemas de producción tradicional, siendo este el patrón dominante en el territorio. Para mano de obra se tomó el promedio de jornales de cultivo, mantenimiento y cosecha de cafetos por hectárea de acuerdo con la estructura de costos de producción en el SIRHUILA (Gobernación del Huila, 2016) y para electricidad y combustible se calcularon valores aproximados según el uso de estos recursos medido en las encuestas a productores. El valor promedio es de 1,51E+15 sej, con un valor máximo de 5,76E+15 y un mínimo de 1,22E+14 sej. Respecto a la estructura de costos y el aporte de los flujos individuales, la Tabla 7 muestra la participación porcentual de cada flujo en el consumo total de emergía de recursos subsidiados.

Tabla 7. Participación de cada ítem en el cálculo de flujos subsidiados.

Flujos	Total de flujos	Porcentaje
Total Fertilizantes en Levante	2,69952E+13	0,02%
Total Fertilizantes en Producción	6,03267E+13	0,04%
Total Fertilizantes Levante	1,03465E+14	0,08%
Total Fertilizantes Producción	1,89642E+15	1,40%
Total Pesticidas y fungicidas	8,9392E+15	6,58%
Total Mano de obra	1,18925E+17	87,55%
Total Electricidad	2,45998E+15	1,81%
Total Combustible	3,41985E+15	2,52%

De acuerdo con los resultados se puede apreciar el peso específico de la mano de obra en la estructura total de consumo de flujos subsidiados. Este valor es importante debido al aporte de la mano de obra en los procesos de producción del café, que impactan directamente sobre la productividad de los territorios, la calidad del producto y en los ingresos obtenidos por los productores (Duque & Dussán, 2004). Otro valor importante es el de la línea correspondiente a pesticidas y fungicidas en el control fitosanitario de las plagas y enfermedades. Los valores bajos en los fertilizantes se pueden asociar con el aporte de la tierra y el territorio en cuanto a la calidad y existencia de nutrientes

específicos para el cultivo. En el caso de uso de combustibles y electricidad, se observó en las muestras analizadas un patrón de recorridos cortos con un promedio de 13 km entre las fincas y los sitios de venta de insumos y venta del café producido.

5.4.3. Indicadores de sostenibilidad

A partir de los resultados obtenidos se calcularon los principales indicadores energéticos seleccionados para el análisis de sostenibilidad en este estudio, y definidos con anterioridad en el capítulo 4. La Tabla 8 muestra el resumen de los indicadores estudiados.

Tabla 8. Cálculo de indicadores energéticos para los territorios analizados.

Indicador	Expresión	Cálculo a partir de valores promedio
Flujo renovable	R	1,00E+16
Explotación de reservas renovables	N	3,40E+15
Flujo importado	F	1,51E+15
Consumo total de energía (Y, U)	$N0+N1+R+F$	1,49E+16
Fracción derivada de fuentes locales	$(N0+N1+R)/U$	0,899
Fracción renovable local	R/U	0,67
Fracción comprada	$(F)/U$	0,10
Consumo por área	$U/(\text{área ha})$	6,58E+13
Tasa de carga ambiental (ELR)	$(\text{Imp} + N0 + N1) / R$	0,49
Relación de rendimiento (EYR)	$U / (N0 + N1 + F)$	3,04
Sostenibilidad energética (ESI)	EYR / ELR	6,20

Los estudios referenciados para el cafeto en diferentes países, aunque la diferencia de enfoques metodológicos y fronteras aplicadas no permite una comparación directa entre resultados, si es importante para conocer la tendencia general del cultivo y el contraste en los resultados obtenidos.

La Tabla 9 muestra el valor identificado para los principales índices de sostenibilidad energética en cuatro estudios referenciados y los resultados calculados en este.

El índice de carga ambiental ELR, que muestra un valor de 0,49 de alguna manera manifiesta un alto grado de sostenibilidad en los territorios analizados, comparado con el valor obtenido para el municipio (10,75), lo cual demuestra el valor de los recursos

naturales en la dinámica territorial vinculado con la producción del café, siendo el valor más bajo en comparación con los casos encontrados en la literatura.

Tabla 9. Comparación de índices de sostenibilidad emergética para el cafeto.

Territorio	ELR	EYR	ESI
Nicaragua (Cuadra y Rydberg, 2006)	8,5	1,12	0,13
Brasil (Giannetti y otros, 2011)	8,1	1,13	0,14
Perú (Suca y otros, 2012)	1,01	2	1,99
Colombia (González A, 2015)	1,5	1,9	1,26
Pitalito	0,49	3,04	6,20

Esta tendencia mostrada se revierte en el caso de la tasa de rendimiento emergético (EYR), dando a entender que en el caso aplicado a Pitalito los procesos relacionados con la producción del café se sustentan principalmente en recursos locales. Para el caso del índice de sostenibilidad emergética, permite vislumbrar cómo la dinámica y la estructura de los procesos vinculados con la producción del café en el territorio conllevan implícito un modelo de sostenibilidad a largo plazo de la producción.

El estudio de los resultados individuales muestra para el ELR un rango comprendido entre 0,25 y 0,87, manteniendo a nivel individual la misma tendencia en los resultados evaluados para el grupo completo, lo mismo resulta en el análisis del índice EYR donde el menor valor es 2,15 y el mayor 5,06. En el índice de sostenibilidad emergética la diferencia entre el mayor y menor valor es de 87%, indicando también una alta variabilidad en las estrategias individuales y los procesos en cada territorio estudiado.

Dadas estas diferencias, el estudio de los indicadores emergéticos es limitado, debido a que no alcanza a cubrir los efectos particulares de cada flujo en el rendimiento de la producción, el efecto ambiental y el desarrollo sostenible del territorio. Para esto, en el capítulo siguiente, a partir de los resultados obtenidos se analizará la eficiencia técnica de los procesos con el ánimo de profundizar en el conocimiento brindado en cada caso particular frente a la interacción de los factores ETD.

5.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Al integrar el modelo de eficiencia del sistema territorial mediante la síntesis emergética se vinculan de manera tácita los elementos energía, territorio y desarrollo y por lo tanto es necesario establecer esta relación de manera explícita para poder apreciar el efecto de la eficiencia energética en el proceso y los objetivos territoriales. En esta sección se analizan los diferentes niveles de eficiencia energética en cada uno de los territorios que componen la muestra de productores de café en el municipio de Pitalito a partir de medidas estandarizadas y globalmente aceptadas, con el ánimo de hallar la correlación y la influencia de estas variables en el proceso.

5.5.1. Modelo DEA

Las variables analizadas para el modelo son las siguientes

Tabla 10. Variables analizadas en el modelo de eficiencia territorial para café

ENTRADAS	SALIDAS
Flujos energéticos renovables	Producción
Flujos energéticos no renovables	Índice de sostenibilidad ambiental
Flujos energéticos subsidiados	Emisiones

La información seleccionada para este estudio corresponde a los resultados de la evaluación emergética para pequeños, medianos y grandes productores de café en el municipio de Pitalito, representados por 90 territorios analizados. Cada territorio (mostrado bajo el rótulo “finca”, que representa cada una de las fincas analizadas en las tablas siguientes) representa en este estudio una unidad tomadora de decisión (DMU) siendo estos la base del análisis envolvente.

Las entradas analizadas corresponden con los flujos principales del modelo de síntesis emergética de Odum, y la intención de integrar estos tres flujos en la evaluación de la eficiencia técnica de los territorios corresponde con la limitación expuesta por Jordan, en el sentido de que la evaluación debe integrar no solo los flujos subsidiados como ha sido tradicionalmente realizado, sino también los flujos de la naturaleza para obtener una visión holística del sistema. En las salidas se escogió, la producción, como el resultado

directo del esfuerzo realizado por los caficultores, el índice de sostenibilidad ambiental como una muestra de la relación de largo plazo entre las personas y el territorio y las emisiones, dado el interés particular de este proyecto de integrar la eficiencia y los impactos ambientales en la medición.

En el análisis emergético de los territorios no se realizó el cálculo de emisiones por lo cual es necesario realizar el cálculo de este valor mediante una aproximación. En el estudio de los procesos asociados a la producción de café en el municipio de Pitalito, se ha encontrado un valor preliminar de emisiones correspondiente a 23,47 Kg CO_{2eq} por cada kg de café pergamino seco (MCCH, 2017). Este valor no incluye aún el peso asociado a las actividades de transporte y uso de combustibles, sin embargo, el principal peso en estas evaluaciones está dado por el aporte de pérdida de suelos, fertilizantes y productos químicos asociados. Otro elemento que hay que resaltar, es que este valor corresponde exclusivamente a las emisiones sin tomar en cuenta remociones, ya que el interés de este proyecto se enfoca en la disminución de las primeras. A partir de este valor y tomando un valor de transformidad de 1,57E11 sej/g (Kursun, 2013) se completó la información relacionada con emisiones. En la Tabla 11 se puede apreciar la totalidad de valores calculados para cada uno de los territorios analizados.

Tabla 11. Valores de entrada para el análisis envolvente

		Entradas			Salidas		
		R	N	F	Producción	Emisiones	ESI
1	Finca150	7,67E+15	9,65E+14	1,08E+15	1,43E+16	1,77E+19	17,82
2	Finca142	7,69E+15	9,65E+14	1,10E+15	1,43E+16	1,77E+19	17,63
3	Finca183	9,63E+15	1,24E+15	1,42E+15	1,84E+16	1,77E+19	16,69
4	Finca181	8,84E+15	1,10E+15	1,27E+15	1,64E+16	1,77E+19	17,62
5	Finca30	8,05E+15	9,50E+14	1,11E+15	1,39E+16	1,77E+19	19,11
6	Finca55	1,04E+16	1,36E+15	1,63E+15	2,11E+16	1,75E+19	15,51
7	Finca147	1,26E+16	1,62E+15	1,84E+15	2,25E+16	1,80E+19	16,89
8	Finca182	8,13E+15	1,03E+15	1,18E+15	1,43E+16	1,80E+19	17,22
9	Finca28	7,93E+15	9,55E+14	1,17E+15	1,33E+16	1,80E+19	17,71
10	Finca91	9,03E+15	1,20E+15	1,32E+15	1,39E+16	1,87E+19	16,35
11	Finca105	1,18E+16	1,54E+15	1,68E+15	1,68E+16	1,89E+19	17,02
12	Finca93	6,26E+15	8,96E+14	1,14E+15	1,33E+16	1,77E+19	12,51
13	Finca4	6,13E+15	7,75E+14	8,80E+14	1,23E+16	1,74E+19	17,44
14	Finca110	5,18E+15	7,09E+14	8,10E+14	1,23E+16	1,69E+19	15,06
15	Finca81	4,52E+15	5,91E+14	6,73E+14	1,02E+16	1,69E+19	16,34

16	Finca144	2,78E+15	3,58E+14	4,04E+14	5,32E+15	1,77E+19	16,89
17	Finca39	5,08E+15	2,74E+15	8,22E+14	1,73E+16	1,44E+19	3,47
18	Finca126	5,11E+15	2,58E+15	7,19E+14	1,61E+16	1,45E+19	3,95
19	Finca140	3,67E+15	1,93E+15	5,30E+14	1,17E+16	1,47E+19	3,71
20	Finca291	4,73E+15	2,12E+15	5,89E+14	1,23E+16	1,51E+19	4,79
21	Finca157	8,20E+15	4,32E+15	1,21E+15	2,40E+16	1,53E+19	3,69
22	Finca124	9,55E+15	4,92E+15	1,36E+15	2,78E+16	1,52E+19	3,83
23	Finca118	9,26E+15	4,88E+15	1,40E+15	2,19E+16	1,67E+19	3,65
24	Finca156	1,71E+16	2,18E+15	2,43E+15	1,64E+16	2,00E+19	17,50
25	Finca132	1,84E+16	9,28E+15	2,57E+15	2,34E+16	1,91E+19	3,96
26	Finca125	7,54E+15	3,80E+15	1,11E+15	1,46E+16	1,75E+19	3,89
27	Finca272	6,70E+15	3,10E+15	9,11E+14	1,02E+16	1,82E+19	4,46
28	Finca275	9,59E+15	4,41E+15	1,31E+15	8,78E+15	1,98E+19	4,49
29	Finca34	3,65E+15	1,79E+15	5,09E+14	6,73E+15	1,76E+19	4,11
30	Finca36	4,95E+15	2,23E+15	6,66E+14	1,17E+16	1,57E+19	4,63
31	Finca82	5,96E+15	7,80E+14	9,90E+14	4,50E+15	2,05E+19	14,71
32	Finca6	6,35E+15	3,32E+15	1,15E+15	2,72E+16	1,20E+19	3,44
33	Finca269	7,73E+15	3,75E+15	1,21E+15	3,07E+16	1,20E+19	3,99
34	Finca168	6,98E+15	3,68E+15	1,05E+15	2,52E+16	1,37E+19	3,66
35	Finca58	6,14E+15	3,16E+15	9,63E+14	2,24E+16	1,34E+19	3,70
36	Finca155	8,59E+15	4,16E+15	1,26E+15	2,93E+16	1,35E+19	4,09
37	Finca121	7,85E+15	4,04E+15	1,12E+15	2,93E+16	1,33E+19	3,83
38	Finca122	7,57E+15	3,64E+15	1,01E+15	2,63E+16	1,33E+19	4,27
39	Finca19	8,57E+15	4,11E+15	1,13E+15	3,09E+16	1,29E+19	4,32
40	Finca139	5,73E+15	3,02E+15	8,30E+14	2,19E+16	1,32E+19	3,71
41	Finca145	9,90E+15	5,00E+15	1,58E+15	3,51E+16	1,35E+19	3,77
42	Finca94	1,08E+16	5,00E+15	4,44E+15	3,51E+16	1,35E+19	2,47
43	Finca220	1,01E+16	5,33E+15	1,71E+15	4,10E+16	1,27E+19	3,50
44	Finca273	1,04E+16	4,97E+15	1,57E+15	4,10E+16	1,20E+19	4,11
45	Finca136	8,66E+15	4,28E+15	1,66E+15	3,51E+16	1,20E+19	3,58
46	Finca188	8,99E+15	4,52E+15	1,20E+15	3,51E+16	1,26E+19	4,05
47	Finca77	1,82E+16	2,45E+15	2,97E+15	3,60E+16	1,77E+19	14,61
48	Finca89	1,92E+16	2,51E+15	2,81E+15	3,48E+16	1,80E+19	16,63
49	Finca45	1,69E+16	2,16E+15	2,43E+15	3,48E+16	1,73E+19	17,22
50	Finca184	1,74E+16	2,22E+15	2,50E+15	3,07E+16	1,80E+19	17,31
51	Finca16	1,13E+16	5,71E+15	1,69E+15	4,68E+16	1,20E+19	3,87
52	Finca35	1,32E+16	6,07E+15	1,75E+15	4,97E+16	1,20E+19	4,53
53	Finca117	1,23E+16	6,19E+15	1,77E+15	5,27E+16	1,17E+19	3,91
54	Finca160	1,29E+16	6,03E+15	1,71E+15	5,27E+16	1,14E+19	4,47
55	Finca41	1,25E+16	5,64E+15	1,65E+15	4,97E+16	1,13E+19	4,66
56	Finca265	1,59E+16	7,14E+15	2,01E+15	5,85E+16	1,20E+19	4,76
57	Finca38	2,07E+16	1,09E+16	3,50E+15	8,19E+16	1,29E+19	3,50
58	Finca146	2,34E+16	1,09E+16	4,05E+15	7,20E+16	1,41E+19	4,01
59	Finca178	1,73E+16	8,66E+15	2,45E+15	5,47E+16	1,44E+19	3,98
60	Finca 1	6,91E+15	3,56E+15	9,89E+14	3,13E+16	1,13E+19	3,82
61	Finca106	1,66E+16	2,00E+15	2,49E+15	3,89E+16	1,63E+19	17,44

62	Finca119	3,12E+15	4,00E+14	4,55E+14	4,10E+15	1,91E+19	17,01
63	Finca123	1,33E+15	6,71E+14	1,85E+14	4,97E+15	1,30E+19	3,96
64	Finca13	7,88E+15	4,08E+15	1,18E+15	3,92E+16	1,03E+19	3,73
65	Finca131	4,67E+15	2,36E+15	6,54E+14	1,61E+16	1,38E+19	3,95
66	Finca133	5,83E+15	7,47E+14	8,52E+14	1,54E+16	1,59E+19	16,97
67	Finca134	3,18E+15	1,54E+15	4,25E+14	1,10E+16	1,34E+19	4,23
68	Finca137	1,83E+16	2,25E+15	2,81E+15	2,76E+16	1,85E+19	16,75
69	Finca138	1,09E+15	5,41E+14	1,56E+14	4,39E+15	1,22E+19	4,04
70	Finca143	1,99E+15	2,34E+14	2,90E+14	3,07E+15	1,82E+19	18,27
71	Finca154	2,18E+16	2,55E+15	2,91E+15	3,79E+16	1,77E+19	19,86
72	Finca158	3,70E+16	1,82E+16	5,76E+15	1,32E+17	1,33E+19	3,93
73	Finca163	2,03E+16	2,57E+15	2,86E+15	4,10E+16	1,73E+19	17,73
74	Finca165	4,97E+15	6,50E+14	8,13E+14	1,54E+16	1,50E+19	14,94
75	Finca167	4,62E+15	2,28E+15	6,53E+14	2,14E+16	1,06E+19	4,06
76	Finca185	1,38E+15	7,14E+14	1,99E+14	5,85E+15	1,20E+19	3,81
77	Finca189	3,69E+16	1,68E+16	5,02E+15	1,19E+17	1,34E+19	4,55
78	Finca194	2,26E+15	1,11E+15	3,26E+14	8,78E+15	1,24E+19	4,04
79	Finca21	2,52E+16	1,22E+16	3,69E+15	1,20E+17	1,00E+19	4,09
80	Finca22	4,57E+15	2,22E+15	6,48E+14	1,70E+16	1,27E+19	4,15
81	Finca221	6,65E+15	3,66E+15	1,19E+15	3,51E+16	1,03E+19	3,25
82	Finca226	2,44E+16	3,08E+15	3,70E+15	2,87E+16	1,94E+19	16,60
83	Finca230	4,21E+15	2,01E+15	5,69E+14	1,32E+16	1,41E+19	4,30
84	Finca246	5,32E+15	2,53E+15	7,21E+14	2,05E+16	1,22E+19	4,32
85	Finca261	5,67E+15	2,73E+15	7,75E+14	2,37E+16	1,14E+19	4,23
86	Finca262	3,83E+15	4,47E+14	4,96E+14	1,64E+15	2,11E+19	20,52
87	Finca290	3,87E+15	1,95E+15	6,70E+14	1,87E+16	1,03E+19	3,65
88	Finca292	7,66E+14	9,38E+13	1,22E+14	1,81E+15	1,63E+19	16,09
89	Finca42	5,11E+15	2,47E+15	8,78E+14	2,16E+16	1,14E+19	3,84
90	Finca85	3,02E+16	3,85E+15	4,34E+15	5,71E+16	1,77E+19	17,27

Para la construcción de esta tabla es importante hacer notar que todos los flujos tanto de entradas como de salidas se encuentran medidos en una misma unidad, para este caso, *solar emjoules* (sej) lo cual es una ventaja que brinda la integración entre la síntesis emergética y el análisis envolvente. Por otra parte, se puede apreciar que se muestran dos columnas para emisiones, en este caso, la columna transformada corresponde a la aplicación del algoritmo de (Seiford & Zhu, 2002) para facilitar el tratamiento de las emisiones como una salida indeseada.

Para la obtención de los resultados, la medición de las eficiencias, las funciones objetivo y holguras del modelo se utilizó el complemento solver para DEA en Excel desarrollado por

el profesor Josef Jablonsky del Departamento de econometría de la Universidad de económicas en Praga (Jablonsky, 2008). Con los parámetros elegidos se ingresaron los datos en el complemento Excel, la Figura 23 muestra la ventana de entrada de datos.

Se seleccionó para el estudio un modelo BCC orientado a entradas que además supone rendimientos variables a escala (Restrepo & Villegas, 2007), esto es, un modelo de optimización dirigido a minimizar el uso de recursos manteniendo el mismo nivel de producción que al ser analizado en el territorio no es constante en la misma proporción para todas las fincas.

Figura 23. Entrada de datos en el complemento DEA-Excel

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en la aplicación del modelo para los 90 territorios estudiados.

Tabla 12. Resultados de estudio de eficiencia DEA

ID	DMU	Eff. score	Virtual inputs			Virtual outputs				Pears --->	
			R	N	F	Produc.	Emis.	ESI			
1	Finca93	0,93	5,85E+15	8,37E+14	8,67E+14	1,33E+16	1,77E+19	17,80	30	63	65
2	Finca221	1,00	6,65E+15	3,66E+15	1,19E+15	3,51E+16	1,03E+19	3,25	2		
3	Finca110	0,95	4,95E+15	6,77E+14	7,56E+14	1,23E+16	1,69E+19	17,04	16	63	65
4	Finca77	0,94	1,71E+16	2,31E+15	2,50E+15	3,60E+16	1,77E+19	17,88	34	63	65
5	Finca39	0,73	3,72E+15	1,72E+15	6,01E+14	1,73E+16	1,44E+19	12,16	2	23	58

6	Finca91	0,78	7,08E+15	9,43E+14	1,04E+15	1,39E+16	1,87E+19	17,74	30	63	65
7	Finca38	0,86	1,78E+16	8,33E+15	2,60E+15	8,19E+16	1,29E+19	8,86	65	77	79
8	Finca81	0,92	4,18E+15	5,46E+14	6,23E+14	1,02E+16	1,69E+19	17,31	16	26	63
9	Finca220	0,84	8,49E+15	4,16E+15	1,33E+15	4,10E+16	1,27E+19	8,70	2	58	65
10	Finca140	0,76	2,65E+15	1,15E+15	4,04E+14	1,17E+16	1,47E+19	12,88	23	58	65
11	Finca118	0,61	5,62E+15	2,16E+15	8,25E+14	2,19E+16	1,67E+19	15,72	58	65	77
12	Finca82	0,74	4,43E+15	5,79E+14	6,01E+14	4,50E+15	2,05E+19	19,66	30	63	65
13	Finca157	0,67	5,46E+15	2,37E+15	8,09E+14	2,40E+16	1,53E+19	14,12	58	65	77
14	Finca89	0,89	1,71E+16	2,24E+15	2,49E+15	3,48E+16	1,80E+19	18,09	34	63	65
15	Finca168	0,77	5,39E+15	2,54E+15	8,07E+14	2,52E+16	1,37E+19	10,93	2	23	58
16	Finca165	1,00	4,97E+15	6,50E+14	8,13E+14	1,54E+16	1,50E+19	14,94	16		
17	Finca139	0,84	4,62E+15	2,23E+15	6,97E+14	2,19E+16	1,32E+19	9,77	23	58	65
18	Finca105	0,74	8,55E+15	1,13E+15	1,24E+15	1,68E+16	1,89E+19	18,93	63	65	77
19	Finca55	0,90	9,30E+15	1,22E+15	1,38E+15	2,11E+16	1,75E+19	17,41	30	63	65
20	Finca6	0,84	5,35E+15	2,79E+15	9,39E+14	2,72E+16	1,20E+19	7,02	2	16	58
21	Finca144	0,94	2,51E+15	3,36E+14	3,79E+14	5,32E+15	1,77E+19	17,70	16	58	65
22	Finca183	0,87	8,33E+15	1,07E+15	1,23E+15	1,84E+16	1,77E+19	18,06	63	65	77
23	Finca13	1,00	7,88E+15	4,08E+15	1,18E+15	3,92E+16	1,03E+19	3,73	23		
24	Finca147	0,83	1,04E+16	1,34E+15	1,53E+15	2,25E+16	1,80E+19	18,34	63	65	77
25	Finca185	1,00	1,38E+15	6,90E+14	1,99E+14	5,85E+15	1,21E+19	4,02	23	56	57
26	Finca133	1,00	5,83E+15	7,47E+14	8,52E+14	1,54E+16	1,59E+19	16,97	26		
27	Finca 1	0,97	6,36E+15	3,25E+15	9,58E+14	3,13E+16	1,13E+19	5,62	23	56	58
28	Finca58	0,77	4,70E+15	2,28E+15	7,38E+14	2,24E+16	1,34E+19	10,15	2	23	58
29	Finca45	0,95	1,57E+16	2,06E+15	2,31E+15	3,48E+16	1,73E+19	17,82	34	63	65
30	Finca119	1,00	3,12E+15	4,00E+14	4,55E+14	4,10E+15	1,91E+19	17,01	30		
31	Finca124	0,68	6,29E+15	2,76E+15	9,29E+14	2,78E+16	1,52E+19	13,84	58	65	77
32	Finca121	0,82	6,19E+15	2,97E+15	9,25E+14	2,93E+16	1,33E+19	9,95	23	58	65
33	Finca156	0,59	1,02E+16	1,30E+15	1,44E+15	1,64E+16	2,00E+19	19,52	34	63	65
34	Finca85	1,00	3,02E+16	3,85E+15	4,34E+15	5,71E+16	1,77E+19	17,27	34		
35	Finca184	0,86	1,48E+16	1,91E+15	2,15E+15	3,07E+16	1,80E+19	18,25	34	63	65
36	Finca182	0,84	6,75E+15	8,74E+14	9,94E+14	1,43E+16	1,80E+19	18,23	63	65	77
37	Finca163	1,00	2,03E+16	2,57E+15	2,86E+15	4,10E+16	1,73E+19	17,73	37		
38	Finca4	0,91	5,39E+15	7,02E+14	7,96E+14	1,23E+16	1,74E+19	17,79	26	63	65
39	Finca226	0,68	1,65E+16	2,09E+15	2,35E+15	2,87E+16	1,94E+19	18,91	34	63	79
40	Finca150	0,89	6,45E+15	8,55E+14	9,56E+14	1,43E+16	1,77E+19	17,98	63	65	77
41	Finca142	0,88	6,48E+15	8,46E+14	9,61E+14	1,43E+16	1,77E+19	17,99	63	65	77
42	Finca126	0,75	3,56E+15	1,60E+15	5,37E+14	1,61E+16	1,45E+19	12,44	23	58	65
43	Finca117	0,92	1,10E+16	5,38E+15	1,63E+15	5,27E+16	1,17E+19	6,81	23	58	65
44	Finca123	0,99	1,25E+15	5,59E+14	1,83E+14	4,97E+15	1,30E+19	6,75	23	56	58
45	Finca125	0,58	4,34E+15	1,43E+15	6,33E+14	1,46E+16	1,75E+19	16,93	65	77	79
46	Finca290	0,98	3,79E+15	1,91E+15	6,56E+14	1,87E+16	1,32E+19	9,33	2	23	56
47	Finca131	0,80	3,47E+15	1,63E+15	5,25E+14	1,61E+16	1,38E+19	10,65	23	56	58
48	Finca16	0,86	9,76E+15	4,77E+15	1,46E+15	4,68E+16	1,20E+19	7,56	2	23	58
49	Finca132	0,43	7,87E+15	2,66E+15	1,10E+15	2,34E+16	1,91E+19	17,50	60	65	79
50	Finca145	0,75	7,40E+15	3,54E+15	1,14E+15	3,51E+16	1,35E+19	10,45	2	58	65
51	Finca181	0,87	7,42E+15	9,57E+14	1,10E+15	1,64E+16	1,77E+19	18,03	63	65	77
52	Finca188	0,92	7,35E+15	3,58E+15	1,10E+15	3,51E+16	1,26E+19	8,59	23	58	65
53	Finca178	0,73	1,21E+16	5,52E+15	1,78E+15	5,47E+16	1,44E+19	11,79	58	65	77
54	Finca136	0,83	7,16E+15	3,54E+15	1,19E+15	3,51E+16	1,20E+19	7,25	2	16	58
55	Finca137	0,77	1,42E+16	1,74E+15	2,06E+15	2,76E+16	1,85E+19	18,63	34	63	79
56	Finca138	1,00	1,09E+15	5,41E+14	1,56E+14	4,39E+15	1,22E+19	4,04	56		
57	Finca167	1,00	4,62E+15	2,28E+15	6,53E+14	2,14E+16	1,06E+19	4,06	57		
58	Finca292	1,00	7,66E+14	9,38E+13	1,22E+14	1,81E+15	1,63E+19	16,09	58		
59	Finca194	0,89	1,97E+15	9,64E+14	2,91E+14	8,78E+15	1,24E+19	5,53	23	56	58
60	Finca158	1,00	3,70E+16	1,82E+16	5,76E+15	1,32E+17	1,33E+19	3,93	60		
61	Finca34	0,73	2,54E+15	6,06E+14	3,73E+14	6,73E+15	1,76E+19	17,40	58	65	77
62	Finca42	0,87	4,45E+15	2,16E+15	7,65E+14	2,16E+16	1,29E+19	8,93	2	16	23
63	Finca106	1,00	1,66E+16	2,00E+15	2,49E+15	3,89E+16	1,63E+19	17,44	63		
64	Finca269	0,82	6,38E+15	3,09E+15	9,99E+14	3,07E+16	1,20E+19	7,42	2	16	23
65	Finca21	1,00	2,52E+16	1,22E+16	3,69E+15	1,20E+17	1,00E+19	4,09	65		
66	Finca22	0,84	3,60E+15	1,76E+15	5,41E+14	1,70E+16	1,27E+19	7,67	23	56	58
67	Finca155	0,74	6,23E+15	2,96E+15	9,30E+14	2,93E+16	1,35E+19	10,50	23	58	65
68	Finca134	0,86	2,45E+15	1,14E+15	3,68E+14	1,10E+16	1,34E+19	8,74	23	56	58
69	Finca28	0,81	6,42E+15	7,74E+14	9,46E+14	1,33E+16	1,80E+19	18,26	63	65	77

70	Finca261	0,94	4,87E+15	2,49E+15	7,30E+14	2,37E+16	1,14E+19	4,84	23	56	58
71	Finca122	0,82	5,56E+15	2,67E+15	8,34E+14	2,63E+16	1,33E+19	9,91	23	58	65
72	Finca19	0,86	6,48E+15	3,14E+15	9,70E+14	3,09E+16	1,29E+19	9,20	23	58	65
73	Finca273	0,83	8,61E+15	4,12E+15	1,30E+15	4,10E+16	1,20E+19	7,49	2	16	23
74	Finca230	0,77	2,91E+15	1,32E+15	4,41E+14	1,32E+16	1,41E+19	11,23	23	56	58
75	Finca246	0,89	4,27E+15	2,14E+15	6,41E+14	2,05E+16	1,22E+19	6,51	23	56	58
76	Finca30	0,98	7,59E+15	9,27E+14	1,09E+15	1,39E+16	1,90E+19	19,11	26	63	65
77	Finca143	1,00	1,99E+15	2,34E+14	2,90E+14	3,07E+15	1,82E+19	18,27	77		
78	Finca154	1,00	2,18E+16	2,55E+15	2,91E+15	3,79E+16	1,77E+19	19,86	78		
79	Finca262	1,00	3,83E+15	4,47E+14	4,96E+14	1,64E+15	2,11E+19	20,52	79		
80	Finca146	0,69	1,62E+16	7,37E+15	2,36E+15	7,20E+16	1,41E+19	10,42	65	77	79
81	Finca160	0,95	1,09E+16	5,39E+15	1,62E+15	5,27E+16	1,14E+19	6,23	23	58	65
82	Finca272	0,59	3,74E+15	1,02E+15	5,37E+14	1,02E+16	1,82E+19	17,73	65	77	79
83	Finca94	0,69	7,53E+15	3,47E+15	1,17E+15	3,51E+16	1,35E+19	10,58	2	16	58
84	Finca275	0,48	4,61E+15	1,07E+15	6,30E+14	8,78E+15	1,98E+19	19,03	65	77	79
85	Finca35	0,88	1,04E+16	5,07E+15	1,54E+15	4,97E+16	1,20E+19	7,62	23	58	65
86	Finca189	1,00	3,69E+16	1,68E+16	5,02E+15	1,19E+17	1,34E+19	4,55	86		
87	Finca41	0,93	1,03E+16	5,10E+15	1,53E+15	4,97E+16	1,13E+19	5,96	23	58	65
88	Finca36	0,63	2,80E+15	1,11E+15	4,21E+14	1,17E+16	1,57E+19	15,03	23	58	65
89	Finca291	0,73	2,82E+15	1,19E+15	4,27E+14	1,23E+16	1,51E+19	13,60	23	58	65
90	Finca265	0,90	1,23E+16	5,95E+15	1,82E+15	5,85E+16	1,20E+19	7,72	23	58	65

La Tabla 12 muestra los resultados obtenidos; estos están organizados de izquierda a derecha de la siguiente forma:

- ID: Número ordenado dado por la aplicación a cada DMU analizada
- DMU: Identificación de cada finca productora estudiada
- EFF score: Valor de eficiencia obtenido en la evaluación, este valor se encuentra en el rango 0-1 donde 1 es la mayor eficiencia técnica
- Virtual inputs: Valor calculado para las entradas, puede variar respecto al valor original, corresponde con el valor que incrementa su eficiencia
- Virtual outputs: Valor calculado para las salidas, puede variar de acuerdo con el modelo utilizado
- Pears: Pares, en cada DMU o territorio estudiado, el modelo propone hasta 5 pares comparativos (aquí solo se muestran los tres primeros) que son unidades con la mayor eficiencia y cuyas estrategias pueden ser implementadas para mejorar la eficiencia de cada DMU analizada.

La lectura de los resultados pueden hacerse así para la primera muestra: La DMU finca 93, identificada como la primera muestra del análisis alcanzó una eficiencia técnica de 0,93; en sus condiciones actuales para el incremento de su calificación puede ser comparada con las unidades 30, 63 y 65, alcanzando un potencial de reducción en el uso de recursos renovables de 6%, 7% menos uso de recursos no renovables y 24% menos

uso de recursos importados, manteniendo la producción y emisiones actuales e incrementando su índice de sostenibilidad en un 42%.

5.5.2. Análisis de resultados

Con la aplicación del modelo DEA se identificaron 17 unidades Pareto eficientes, es decir, aquellas cuya producción y relación entre entradas y salidas se encuentra en el límite de la frontera de eficiencia para la totalidad de los territorios estudiados y corresponden al 19%.

De estos territorios identificados, se puede decir que en principio son bastante heterogéneos, por ejemplo, el 41% de ellos realiza la siembra en sistema de sol, también varían el tamaño de los lotes, teniendo representación de productores minifundistas, pequeños, medianos y grandes, la distancia de siembra o la toma de decisiones de fertilización basada en el análisis de suelos o el uso de agroquímicos.

Los dos únicos factores comunes explícitos en este grupo son la aceptación de los cafés especiales como una estrategia de desarrollo de su producto y crecimiento económico y la aplicación de un sistema de cultivo tradicional no orgánico; sin embargo, solo 5 de estos productores ha participado en eventos de cafés especiales.

Dadas estas diferencias marcadas, se hizo necesario el uso de análisis estadístico para la identificación de estrategias y patrones comunes en el comportamiento de los territorios referentes en eficiencia según los resultados obtenidos en el análisis envolvente. A continuación, se estudian las características y los resultados obtenidos en detalle.

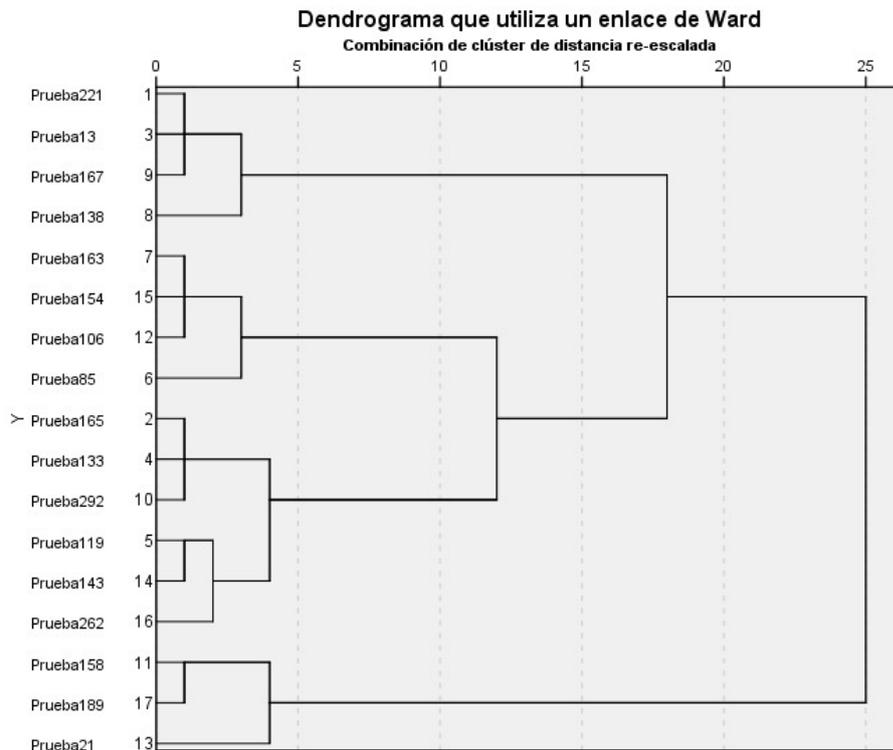


Figura 24. Análisis de conglomerados en territorios Pareto eficientes con SPSS

Lo primero que se puede apreciar es la conformación de 4 conglomerados (Se pueden apreciar al realizar un corte sobre la línea 5 del eje horizontal y en adelante serán nombrados de arriba abajo como grupo 1, 2, 3 y 4) en los 17 territorios eficientes estudiados. Respecto al uso de recursos, se encontraron dos estrategias:

- Los grupos 1 y 4 tienen en promedio un uso de recursos naturales, no renovables e importados de 60%, 30% y 10% respectivamente
- Los grupos 2 y 3 tienen en estos mismos flujos un promedio de uso de 80%, 10% y 10% respectivamente.

Este primer patrón identificado permite establecer la importancia del uso de recursos naturales en la eficiencia técnica de los procesos relacionados con la siembra, el cultivo y la cosecha del café. Al analizar el porcentaje correspondiente a los flujos importados, que es constante en ambos grupos se pueden apreciar dos estrategias diferenciadas: una, basada en la orientación de los procesos hacia un mayor aprovechamiento de los recursos naturales y la otra, hacia el incremento de la productividad basado en la

explotación no renovable de los recursos. Esto se puede comprobar adicionalmente con el análisis del índice de sostenibilidad ambiental (ESI) que se encuentra entre 16 y 20 para los grupos 2 y 3 mientras en los grupos 1 y 4 se encuentra en el rango 1-8 con un promedio de 3.

Otro factor importante que resaltar y que permite diferenciar y delimitar las dos estrategias identificadas para los cuatro grupos corresponde con la luminosidad; todos los territorios pertenecientes a los grupos 1 y 4 tienen sus cultivos en sistemas bajo sol y el 100% de estos manifestaron realizar estudios de suelos como soporte a su actividad mientras los grupos 2 y 3 siembran en sistemas bajo sombra y solo el 60% de estos productores realiza estudio de suelos. De acuerdo con Cenicafé (2013b) la densidad de siembra y la sombra son factores claves en la cantidad de fertilizante requerida para elevar la productividad del cafeto.

Otro factor que permite subdividir los grupos encontrados es el área sembrada, los grupos 1 y 4 se diferencian en su tamaño, siendo los primeros pequeños productores con un área promedio de 1,33 ha de cultivo y los segundos, grandes, con un área promedio de 7,94 ha. En el caso de los grupos 2 y 3 correspondientes a productores con cultivos en sombra los promedios son 5,57 (Medianos) y 0,9 (Pequeños minifundios) respectivamente.

Una de las ventajas adicionales del DEA es la posibilidad de identificar patrones comparativos o pares; como ya se explicó en el análisis de la tabla de resultados, existe una columna donde se definen para cada territorio con una calificación menor de uno (1) un grupo de territorios cuya estructura de relación entre entradas y salidas puede ser tomado como referente para el incremento de la eficiencia en cada caso particular. La Tabla 13 muestra la frecuencia absoluta en el número de ocasiones que cada uno de los territorios evaluados como eficientes fue también definido como ejemplo o patrón o par de referencia.

Lo más relevante que muestra la tabla, es la ausencia de dos territorios calificados como eficientes, pero que no fueron tomados en cuenta como pares de referencia en el modelo, corresponden a la Finca 163 y la Finca 154. En el grupo de los territorios seleccionados como pares destaca la Finca 21 con una frecuencia total de 59 referencias.

Tabla 13. Frecuencia absoluta de pares de referencia propuestos por el modelo DEA

Patrón/par	Frecuencia
Finca21	59
Finca292	43
Finca13	33
Finca143	24
Finca262	24
Finca106	23
Finca221	13
Finca138	11
Finca165	9
Finca85	7
Finca119	4
Finca133	3
Finca167	1
Finca158	1
Finca189	1

Acerca de las unidades ineficientes, estas tienen un promedio de 0,82 demostrando en general un alto nivel de aprovechamiento de los recursos en el territorio, con un rango de datos comprendido entre 0,43 y 0,99. Siendo la unidad más ineficiente aquella identificada como la Finca132, la cual es una finca de 7 ha con 4,8 ha dedicadas al cultivo de cafetos al sol, localizada a 1500 msnm. La distribución de consumos de esta finca muestra un valor cercano al 60% para los flujos renovables, 30% para los flujos no renovables y 9% para los flujos importados, más o menos la misma proporción presentada en el grupo 4; sin embargo, este valor de eficiencia no se debe a la dinámica de sus prácticas o sus procesos, en este caso particular, el 66% de los árboles plantados tiene una edad manifestada por el productor de 3 meses, lo que implica consumo de recursos sin retornos productivos en el corto plazo, por lo cual, el nivel de eficiencia alcanzado se debe al desbalance existente entre los árboles nuevos y los árboles en etapa de producción.

Dado que el modelo utilizado fue orientado a las entradas, las variables de salida no fueron modificadas en el análisis de resultados mientras que los valores de entrada disminuyeron, demostrando con esto que todos los territorios analizados se encuentran en capacidad de disminuir su consumo emergético manteniendo los niveles de producción actual, el análisis de los resultados muestra un potencial promedio de reducción del 32% para los flujos renovables, un 49% para los flujos no renovables y un 35% para los recursos importados, siendo estos dos últimos los que mayor impacto tienen sobre la sostenibilidad del territorio.

Estos últimos componentes del análisis demuestran además que la medida de la eficiencia no puede estar desligada de un estudio caso a caso de las particularidades del territorio, por lo cual, la formulación de estrategias y la toma de decisiones puntuales relacionadas con el cambio técnico, la implementación de tecnologías, la adopción de mecanismos de mejora, los cambios culturales y en general, todas las opciones disponibles para aprovechar el potencial productivo del territorio, debe tener en cuenta la dinámica propia de los sistemas analizados, así como la lógica de los cambios propuestos y el plazo de implementación. Por esta razón, en el capítulo siguiente se desarrolla un modelo de gestión de estrategias y escenarios de cambio para el aprovechamiento del potencial identificado.

CAPÍTULO 6: ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE TERRITORIAL BASADA EN EL INCREMENTO DE LA EFICIENCIA Y LA DISMINUCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1.1. Flujos energéticos

Al observar en detalle los cálculos de entradas y salidas de energía en los diferentes territorios analizados una conclusión es clara: no existe un patrón dominante en torno a la dinámica de uso, generación y aprovechamiento de los flujos existentes y por lo tanto se demuestra la inexistencia de una estrategia productiva única seguida en los sistemas analizados incluso a pesar de la existencia de un gran acervo de conocimiento desarrollado con el objetivo de lograr el máximo rendimiento productivo y la utilización de los recursos⁹. Sin embargo, pese a esta conclusión y los elementos que esto implica, la relación entre la carga ambiental y el rendimiento energético demuestran que en los territorios estudiados existen condiciones para la sostenibilidad de los sistemas en el largo plazo, la cual depende de la utilización de los diferentes flujos existentes y la relación existente entre estos.

En el municipio de Pitalito los flujos renovables representan solo el 8,2% del total de uso energético total, mientras en el caso del cultivo del cafeto, los territorios evaluados alcanzan un valor promedio de 67,4% (en un rango comprendido entre 53%-80%). Para el caso de los flujos no renovables los resultados muestran como el municipio se soporta en estos en un 54% mientras el promedio en los territorios cafeteros alcanza el 22%. Igualmente, la dependencia de flujos importados es mayor para el municipio con un 37% de sus actividades dependientes de recursos externos, al tiempo que la producción de café evaluada solo alcanza un 10%.

Estas diferencias marcadas en la dinámica de los territorios comparados, ilustra el contraste en el enfoque productivo, el uso energético y la relación entre las fuentes utilizadas en las diferentes actividades existentes en el municipio. Aunque los territorios

⁹ Para una mayor comprensión de estos elementos se pueden tomar como referencia el manual cafetero colombiano desarrollado por Cenicafe (2013b) y el vasto contenido libre disponible en esta misma organización.

cafeteros están contenidos dentro del municipio de Pitalito, existen otras actividades que dan forma y configuran la estructura de consumo.

6.1.2. Objetivos de eficiencia

Aunque tanto los valores de entrada, obtenidos mediante la síntesis emergética, como los valores objetivo, determinados mediante el análisis envolvente, han sido analizados en detalle en el capítulo 5, el propósito de este capítulo es observar la dinámica de variación e identificar las estrategias potenciales para el incremento de la eficiencia y el desarrollo sostenible territorial, por esto, en esta sección se muestra un análisis adicional (y complementario) de los resultados obtenidos.

Uso emergético en los territorios

A partir de los valores obtenidos en la síntesis emergética, mostrados en la Tabla 11 y en el anexo electrónico 3, se analizaron diferentes relaciones existentes entre los *inputs* y *outputs* seleccionados como variables claves de la eficiencia en los territorios.

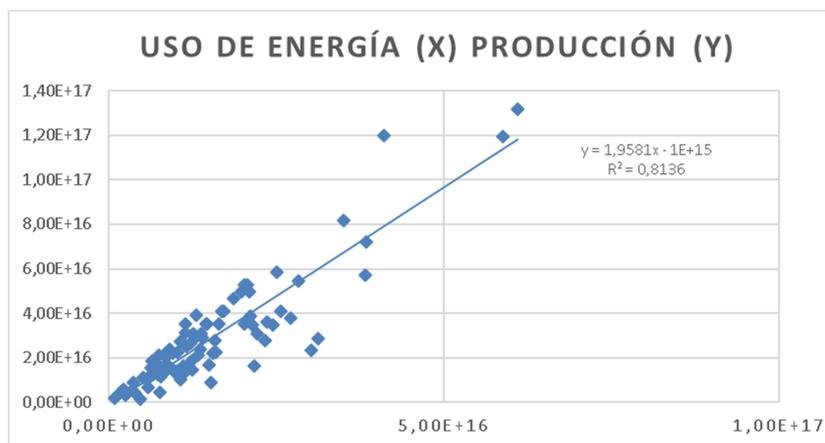


Figura 25. Relación entre uso de energía y producción

En primer lugar, se analizó el rendimiento productivo por unidad energética consumida, es decir, la relación entre la producción y el uso de energía para los territorios evaluados.

La **Figura 25** muestra esta relación, dando soporte a la idea de que el consumo energético y la producción en el territorio están relacionados, mostrando un coeficiente de correlación de 0,84. Igualmente, el rendimiento productivo del uso de energía (la relación obtenida de dividir la producción obtenida por el uso total de energía) para el estado actual de los territorios se encuentra en el rango comprendido entre 0,34 y 3,05 con un promedio de 1,87, que significa una producción de 1,87 unidades por cada unidad energética invertida. En el caso de las 17 unidades identificadas como Pareto eficientes, el promedio de este valor actual se encuentra en 1,98 para el mismo rango. En el caso de las emisiones y el índice de sostenibilidad no se encontró una relación directa con el consumo total de energía; en el caso de las emisiones, estas dependen de la producción y se ven influenciadas por el uso de los flujos importados (dependientes en gran medida de fuentes fósiles) y para el índice de sostenibilidad ambiental, la relación depende principalmente del uso de fuentes renovables, por lo cual, en estos casos, la relación con el uso total de energía no hace explícitos los factores que afectan directamente su rendimiento.

Objetivos de uso

Con excepción de las unidades Pareto eficientes identificadas en el análisis envolvente, para todos los casos evaluados se propone una disminución en el uso de recursos manteniendo los niveles de producción y las emisiones e incrementando el índice de sostenibilidad ambiental. Este primer resultado, demuestra el alto grado de sensibilidad del índice de sostenibilidad frente a la eficiencia energética del territorio, dada su relación directa con el uso de fuentes renovables, cuya propuesta de cambio global se analiza más adelante.

En el caso de los flujos renovables (R) el modelo matemático demuestra un potencial de disminución en el consumo entre el 2,18% para la entidad 190 cuya calificación de eficiencia fue de 0,98 y 57,17% para la unidad 132 que obtuvo una calificación de eficiencia de 0,43. Estas mismas unidades representan los valores extremos en la disminución de los flujos no renovables (N) con un rango de 2,18%-75,74% y los flujos importados con un rango de 1,2%-73,74%.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se clasificaron las unidades territoriales por niveles de eficiencia de acuerdo con su calificación en una escala cualitativa representada por los valores: Alto (Eficiencia \geq 0.8), Medio (0,5<eficiencia<0,8) y Bajo (Eficiencia<0,5) a continuación se muestra el valor promedio de cambio en los flujos según el nivel de eficiencia.

Tabla 14. Valor promedio de disminución de flujos e incremento de ESI

Nivel de Eficiencia	%Cambio R	%Cambio N	%Cambio F	%Incremento ESI
Alto (46 territorios)	14,7%	14,4%	12,77	59,77
Medio (25 territorios)	31,34%	38,82%	32,55%	183,77%
Bajo (2 territorios)	54,56%	73,55%	54,51	332,7%

A partir de los resultados mostrados en la tabla 14, se aprecia el potencial existente en los territorios, con opciones de disminución en el consumo promedio entre el 12% y el 74%. Sin embargo el impacto total de las medidas que puedan ser tomadas en este sentido se maximiza cuando se logra una disminución de los consumos en la totalidad de los flujos, pero además, manteniendo estos en una proporción de uso que favorezca la sostenibilidad de los territorios en el largo plazo; así, en el caso de los flujos renovables la proporción obtenida con la aplicación del modelo matemático plantea un valor promedio de 68%, 21% para los flujos no renovables y 10% para los flujos importados.

Con estos resultados obtenidos, se calculó además el rendimiento productivo del uso de la emergía para los territorios, obteniendo un valor promedio de 2,31, lo que representa además un incremento de la eficiencia en el uso de los recursos energéticos disponibles en un 23% para los sistemas territoriales evaluados.

6.2. SÍNTESIS ESTRATÉGICA GENERAL

Los valores óptimos de uso emergético identificados por cada flujo, analizados tanto en el capítulo 5 como en las secciones precedentes de este capítulo, representan la respuesta brindada por el modelo matemático a la relación entre entradas y salidas para alcanzar un valor óptimo de eficiencia en las unidades productivas; sin embargo, es claro hasta este punto que las respuestas proporcionadas por el modelo matemático solo corresponden con la identificación de un valor potencial de mejora sin profundizar en las acciones

particulares o las estrategias que puedan ser implementadas por los productores para el incremento de su eficiencia técnica.

Otro elemento importante que considerar en este análisis es la conversión cuidadosa y la comprensión de los resultados matemáticos en la lógica de las relaciones existentes en el territorio, tal como se mostrará por ejemplo en la sección 6.3.2 cuando se analicen las estrategias de disminución en el uso de los flujos renovables. A continuación, el contenido se divide en dos partes: una descripción general de la relación existente entre la estrategia y los flujos emergéticos y luego una descripción más detallada del contenido de las mismas.

6.2.1. Fundamentos de la estrategia

Para la formulación de las estrategias es necesario tomar en cuenta los siguientes elementos:

- Para incrementar los niveles de sostenibilidad en la dinámica de los territorios y sus relaciones productivas es necesario disminuir el consumo de recursos en tres dimensiones: renovables, no renovables e importadas las cuales según el modelo analizado se encuentran en una proporción de 60%, 20% y 10% aproximadamente. Esta proporción define el orden de las intervenciones propuestas bajo el principio de buscar el mayor impacto y, por lo tanto, de esta manera se presentarán.
- Los resultados mostrados indican el orden y la lógica de las intervenciones y estrategias potenciales de mejora, sin embargo, en la práctica, existe para el caso particular del cafeto una base de conocimiento desarrollada, sobre la cual se apoyarán las estrategias para cada flujo. Estas se concentran de manera general en la guía del caficultor desarrollada por Cenicafé (2013b).
- Con base en lo anterior, en esta investigación no se profundizará en los elementos técnicos particulares relacionados con el cultivo del cafeto, y por tanto las estrategias se enfocan en identificar cada uno de estos elementos y sus variables claves en relación con su efecto o aporte a la eficiencia energética en el territorio. Para el detalle particular de la implementación técnica de las acciones necesarias, se hará referencia a los soportes teóricos y documentales existentes.

Así, se han definido seis principios para la eficiencia energética y el desarrollo sostenible del territorio, cuyo resumen se muestra a continuación en la figura 25 y se explica en detalle en la sección 6.3.2.

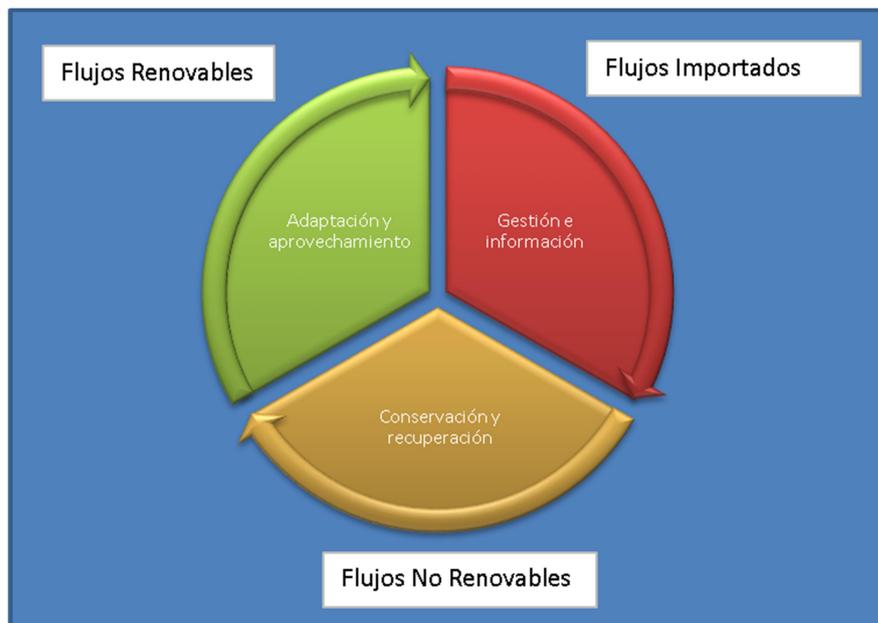


Figura 26. Principios de eficiencia energética y desarrollo sostenible del territorio

6.2.2. Ejes estratégicos

Flujos renovables

Matemáticamente el flujo renovable para los territorios (en este caso) se cuantifica mediante el cálculo del aporte químico y geopotencial de la lluvia¹⁰. Las variables involucradas en este cálculo son las siguientes:

- Precipitaciones
- Área
- Elevación media del territorio

¹⁰ Como ya se ha explicado anteriormente, en el modelo de síntesis emergética, el mayor flujo renovable entre las fuentes solar, eólica, lluvia, geotérmica y ríos se toma para el cálculo, obviando los demás valores dado que estos se encuentran contenidos en el primero y con esta regla, se evita el doble conteo del aporte de los componentes geo-bio-físicos de la naturaleza a los sistemas.

Adicionalmente a estas variables, existen una serie de constantes físicas y químicas involucradas en el cálculo, como la densidad del agua, el coeficiente de energía libre de Gibbs y la gravedad. Dadas estas variables, el incremento o disminución del uso del valor asociado al flujo de fuentes renovables pasa por la intervención de cada una de ellas de manera independiente o en conjunto. Para los sistemas territoriales estudiados estos valores también son constantes y su variación, como en el caso de las precipitaciones anuales, no es controlable y más bien, puede suponer un riesgo, como los eventos climáticos asociados por ejemplo al fenómeno de la niña (Alcaldía de Pitalito, 2015).

En el caso del cultivo del café se puede realizar una variación intencional del área, así los territorios se pueden someter a una variación no controlable de las precipitaciones y la elevación media permanece constante. En este sentido las estrategias identificadas se basan en dos aspectos: **adaptación y aprovechamiento**.

Con relación a las precipitaciones, los escenarios de cambio climático para el área geográfica donde se ubica el Municipio de Pitalito establecen probabilidades de aumento de las precipitaciones para el territorio IDEAM (2015). Este aumento que puede suponer un incremento de la energía libre disponible trae consigo también una serie de efectos negativos sobre la dinámica del territorio, por lo cual se hace necesario formular estrategias de adaptación.

El área corresponde a la medida de la delimitación geográfica del espacio que compone el territorio estudiado. En términos matemáticos, la disminución del uso energético proveniente de flujos renovables implica una disminución del área dada la naturaleza no controlable de las demás variables involucradas. En este sentido, el área (en los territorios de siembra del café) es una variable controlable por los productores; sin embargo, dicha variable es clave también en la relación de producción, y una minimización de esta, limitada solo al criterio de disminución de los flujos no tiene soporte por cuanto afecta de manera directa el rendimiento económico percibido por los productores.

Por tanto es importante hacer una apreciación particular, el modelo matemático propone la disminución del uso de los flujos renovables, lo que supone de manera directa una disminución del área dedicada a las actividades productivas; sin embargo, existe una alternativa indirecta para lograr este propósito: **el aprovechamiento**, que en el caso de la variable estudiada, se refiere al uso racional e intencionado del recurso, en este caso del

área, que en el caso del cultivo del cafeto, se relaciona con la implementación de las diferentes acciones tendientes a lograr el máximo beneficio de un recurso limitado

Flujos no renovables

El aporte al consumo de los flujos no renovables en los sistemas territoriales estudiados corresponde a la pérdida de suelo y minerales. Este proceso en la zona cafetera colombiana se caracteriza por procesos de erosión hídrica en los casos de afectación superficial y movimientos de masa en las afectaciones profundas (Cenicafé, 2016). Por lo cual las estrategias en este flujo se enfocan en los procesos de **conservación y recuperación**

Las variables de densidad de siembra, tipo de siembra, luminosidad, control y manejo agronómico de los cultivos tienen incidencia sobre este consumo, por lo tanto, una acción desarrollada sobre el control y la gestión del consumo de recursos libres renovables no puede estar desligada del efecto sistémico que esta puede producir directamente sobre otros consumos, ya que en el proceso territorial estudiado, los flujos, los consumos y la dinámica productiva se encuentran integrados de manera que, aunque se pueden analizar de forma individual, los efectos se producen sobre la totalidad de los flujos y el proceso.

De acuerdo con Cenicafé (2016), la práctica más efectiva para disminuir la erosión hídrica es el mantenimiento de coberturas nobles, lo cual está integrado de manera directa con los procesos de manejo integrado de arvenses, alcanzando hasta un 97% de eficiencia en la conservación del recurso.

Flujos importados

Los flujos importados identificados están compuestos por el aporte en el uso de Fertilizantes, Pesticidas y Fungicidas, Mano de obra, Electricidad y Combustibles. En estos, el principal consumo se centra en la mano de obra, recurso utilizado en los procesos de siembra, mantenimiento del cultivo y cosecha.

Tal como se ha mostrado ya con anterioridad, las estrategias de **adaptación, aprovechamiento, conservación y recuperación** tienen incidencia directa en el uso de recursos en esta etapa. Por ejemplo, la pérdida de suelo conlleva costos asociados la

fertilización del suelo como ya se analizó en el capítulo 5. La estrategia para este flujo corresponde con una estrategia de **gestión y** basada en **información y conocimiento**, que además de incluir las acciones ya definidas en las estrategias para los flujos renovables y no renovables, se propone que esté basada en los principios de cultura de la sostenibilidad desarrollados por Cenicafé (Cenicafé, 2013b)

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Esta investigación involucró diferentes etapas de estudio, dirigidas en su totalidad a responder las preguntas problémicas, así como a aceptar - o negar- la hipótesis y los supuestos planteados dentro de la formulación de la misma. De esta manera, el propósito de este capítulo se orienta a dar forma, responder y discutir, a partir de los elementos encontrados tanto en las etapas de fundamentación como en la ejecución de los objetivos, a las preguntas y los supuestos que dan forma a la base y el enfoque de este trabajo.

Energía y territorio son determinantes del desarrollo sostenible

El análisis de los términos Energía, Territorio y Desarrollo (ETD), tanto desde la literatura como desde la evaluación de los procesos y la dinámica productiva en los territorios en el ámbito de los municipios y las fincas productoras brindan una respuesta frente a la primera pregunta problémica planteada en la investigación, ¿De qué manera la interrelación entre Energía y Territorio actúa como determinante del desarrollo sostenible?

Al analizar las diferentes interrelaciones existentes entre Energía, Territorio y Desarrollo fue posible identificar una serie de elementos: en primer lugar, cómo la definición de cada uno de los términos se encuentra determinada por el contexto particular en que se utiliza, aunque al mismo tiempo, el uso de estos como palabras claves, en ocasiones adolece de una intención particular. Cada término, entonces, es determinado por el autor y el contexto y al mismo tiempo es determinante de la intencionalidad y el enfoque de los resultados que se obtienen en su estudio. Adicionalmente, fue posible establecer que, aunque por separado pueden existir interrelaciones entre los términos y la sostenibilidad, que es el campo principal de enfoque de esta investigación, es en la interrelación de estos donde se genera una intención directa y una relación estrecha entre los campos de estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica, el territorio y el desarrollo, en el marco de los procesos de investigación estudiados, se vinculan mediante el direccionamiento, intencionado, de las políticas y las estrategias definidas por los grupos sociales existentes y tal como se muestra en la figura 3 con un enfoque orientado hacia la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos; en el caso de la energía y el territorio (figura 4) los temas claves se centran en los procesos de

transferencia tecnológica, la participación comunitaria en los proyectos y la estrategia de transición energética, además se hicieron explícitos los conceptos de desarrollo y sostenibilidad los cuales pueden dar cuenta del objetivo y la intencionalidad de los procesos claves identificados. Para el caso de la relación estudiada entre energía y desarrollo (figura 5), el concepto integrador fue el uso de los recursos. Así, los resultados mostraron como las diferentes parejas de términos (Energía-Desarrollo, Energía-Territorio y Territorio-Desarrollo) se direccionan hacia un elemento común: la sostenibilidad como un resultado. El análisis de los tres términos en conjunto permitió identificar la gestión eficiente de los recursos como una estrategia (mostrado en la figura 6). Así, como ya se mencionó dentro del trabajo, el enfoque identificado permitió definir los tres conceptos y su interrelación de la siguiente manera:

“El territorio, más que un espacio, se vincula con el área geográfica, la pertenencia, el poder y la dinámica de los grupos sociales que lo componen buscando el desarrollo como un proceso de cambio (intencionado, acumulativo y dirigido) cuya dinámica es modulada por la energía y los diferentes flujos que componen a esta, favoreciendo, dinamizando y posibilitando las acciones necesarias para alcanzarlo.”

Continuando con el análisis de los tres términos fue posible apreciar cómo la producción científica que los integra es aún incipiente, solo 51 trabajos definen de manera explícita la energía, el territorio y el desarrollo como palabras claves objeto de su investigación. El estudio de estos permitió no solo hacer explícita la importancia de la eficiencia en el uso de los recursos existentes en el territorio como una estrategia de desarrollo y sostenibilidad, sino también identificar modelos de análisis, medición y estudio de los sistemas territoriales con base en el uso de recursos energéticos.

En este punto, se estableció como base de estudio la metodología de síntesis emergética, que permitió estudiar la dinámica productiva y los procesos existentes en el territorio. Este modelo, ya probado como un referente en el estudio conjunto de las interrelaciones ETD, facilitó el análisis del sistema territorial de manera conjunta (en el caso de Pitalito) y de manera individual caso a caso (en el caso de las fincas productoras) permitiendo obtener una visión unificada de los diferentes flujos energéticos que componen los sistemas productivos según las fuentes de origen (renovables, no renovables e importados) las

cuales, al ser medidas en una misma unidad (Solar emjoles en este caso) permitieron estudiar, cuantificar y comparar la dinámica de uso y aprovechamiento de los recursos existentes en el territorio.

Resuelto el problema de la medida energética en los sistemas analizados, fue necesario aplicar un enfoque adicional para la evaluación de la eficiencia en el uso de los recursos, siendo esta un tema clave en la estrategia de desarrollo sostenible de los territorios. El modelo de síntesis presenta una serie de indicadores de eficiencia para los sistemas evaluados; sin embargo, estos no integraban la visión ETD ya definida en este proyecto de investigación siendo necesaria la medición de los diversos flujos energéticos con relación a los resultados productivos, la sostenibilidad de los sistemas y el efecto ambiental de los procesos existentes sobre el medio ambiente, en particular, la huella de carbono como una medida de interés particular. Así, un aporte metodológico de este trabajo consistió en la integración del modelo de síntesis energética con el modelo de análisis envolvente de datos (DEA) para el estudio de la eficiencia técnica en los procesos territoriales basado en múltiples entradas (flujos energéticos) y múltiples salidas (producción, sostenibilidad y efectos ambientales) favoreciendo el análisis comparativo de los diferentes casos estudiados para la formulación de estrategias y la identificación de los factores claves para el desarrollo sostenible de los territorios. Aquí, se hizo más claro el enfoque particular que se siguió y aplicó posteriormente en esta investigación: la eficiencia energética, y no la energía per se, no solo favorece el direccionamiento estratégico hacia la sostenibilidad, sino también, permite un aprovechamiento óptimo de los recursos que garantiza la formulación de estrategias en el largo plazo.

Con base en lo anterior, el estudio de los flujos energéticos y la dinámica territorial en el municipio de Pitalito mostró cómo la dinámica de desarrollo en este territorio en particular es dependiente de sus recursos autóctonos, utilizando flujos energéticos derivados principalmente de actividades extractivas, agrícolas y pecuarias. Si bien los resultados muestran un índice de carga ambiental que puede ser considerado como bajo en comparación con territorios de alta concentración urbana se evidencia también que el balance entre el uso de flujos energéticos no renovables (y el uso no renovable de recursos naturales) frente a los recursos renovables del territorio, es alto, con una tasa de rendimiento energético balanceada, dando como resultado un patrón de insostenibilidad en el largo plazo. En este punto, es posible precisar cómo el desarrollo sostenible del

territorio, siendo un objetivo y resultado de las actividades económicas, productivas y ambientales en las estructuras sociales, se vincula de manera directa con el nivel de eficiencia energética y el impacto ambiental de estas.

En el caso del cafeto, principal cultivo y actividad económica en el territorio se encontró una alta dependencia del producto frente a las condiciones ambientales, genéticas y de manejo. La cuantificación de los aportes de la naturaleza permitió establecer cómo, en la mayoría de los casos existe un enfoque de aprovechamiento en el uso de estos recursos, que son libres; aunque por otra parte, el análisis detallado de eficiencia en los procesos de cultivo, demostró también que las acciones de aprovechamiento son tan variadas como el número de productores existentes, haciendo difícil el establecimiento de una estrategia única y enfocando la investigación más en la determinación de principios de eficiencia y sostenibilidad para el desarrollo del territorio, que en el establecimiento de acciones puntuales de gestión del recurso energético.

En esta dinámica, el café, como producto, presentó un índice de carga ambiental mucho menor que el mismo índice para el municipio donde se ubican los cultivos mostrando que los procesos relacionados con la producción del café se sustentan principalmente en recursos locales, donde el aprovechamiento de los flujos energéticos brindados de manera libre por la naturaleza (como la lluvia, el sol, los nutrientes del suelo) en modelos de producción orientados al uso eficiente de la energía disponible y la integración de herramientas y conocimiento para la disminución de los impactos asociados conllevan implícito un modelo de desarrollo y sostenibilidad a largo plazo para el territorio; en términos de productividad y competitividad se obtuvo un índice de correlación alto para la evaluación de la relación entre el consumo energético y la producción, donde, para un menor consumo de recursos autóctonos renovables y la disminución en el uso de flujos importados (principales aportantes en el cálculo de emisiones para el producto estudiado), es posible mantener los niveles de producción actuales, disminuir las emisiones e incrementar el índice de sostenibilidad en la actividad productiva de los territorios. De esta manera, los resultados muestran como el uso eficiente de los recursos se traduce paralelamente en productividad y sostenibilidad.

La eficiencia energética contribuye al desarrollo de los territorios y su sostenibilidad

La segunda pregunta planteada se enfoca en conocer los mecanismos mediante los cuales se integran energía y territorio para la maximización de los efectos positivos de las actividades humanas sobre el desarrollo sostenible y la minimización de los efectos y consecuencias negativos de estos. En esta lógica, como se ha mencionado ya, la fundamentación teórica sugiere que el desarrollo sostenible como un resultado de la integración energía - territorio se basa en un principio ligado a los recursos y se hace explícito en las acciones de eficiencia energética y planeación ejecutados.

El estudio de los procesos y los flujos de energía en el territorio permitieron identificar potenciales de uso y aprovechamiento de la energía en todas sus dimensiones, tanto los recursos libres (renovables y no renovables) como los flujos de recursos subsidiados y aportados al sistema productivo, así, el enfoque de esta investigación tomó como entradas en el modelo a estos flujos permitiendo evaluar los efectos de estos en la producción, el desarrollo sostenible del territorio y las emisiones como muestra de los efectos ambientales negativos potenciales en el sistema, encontrando que la eficiencia, basada en un mayor aprovechamiento de los recursos libres, el uso racional de los recursos no renovables y una gestión óptima y eficiente de los recursos subsidiados permite maximizar la producción, incrementar el índice de sostenibilidad en el largo plazo de los territorios y disminuir los efectos ambientales negativos asociados a las prácticas productivas en el territorio.

De este análisis se deriva también la importancia del uso de recursos naturales en la eficiencia técnica de los procesos relacionados con la siembra, el cultivo y la cosecha. El estudio de los casos individuales no mostraba por sí mismo una estrategia particular de producción, esto es importante, por cuanto existe un profundo acervo de conocimiento desarrollado por CENICAFÉ buscando brindar a los productores estrategias que permitan la maximización de su productividad y por tanto la obtención del mayor beneficio en la actividad económica vinculada con la producción de café; este conocimiento se tomaría en esta investigación como soporte a los principios estratégicos de producción y desarrollo sostenible del territorio basado en la gestión y eficiencia en el uso y aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles.

El estudio de las estrategias de producción en los territorios calificados con el más alto nivel de eficiencia mostró en primer lugar, que el máximo **aprovechamiento** de los recursos libres es una constante en la estrategia productiva; sin embargo, en este punto es importante hacer una reflexión y una aclaración al respecto: considera el autor que el máximo **uso** de recursos libres consistiría en dejar que la naturaleza haga su trabajo sin ninguna intervención, tomando todo lo que ella brinda y dejando que sea el sistema natural quien regule los procesos y entregue el producto; pero esto en la práctica va en contra de los principios ya identificados de la relación ETD, dónde el desarrollo como proceso de cambio es intencionado y definido por los sistemas sociales y las personas en el territorio. En este punto entonces, el **máximo uso** de los recursos energéticos brindados por la naturaleza no representa su **máximo aprovechamiento** y, por lo tanto, esto influye en la productividad y los resultados particulares de las acciones en el territorio. Claro es también que esto entonces implica adicionalmente que el desarrollo, sin duda, está vinculado con procesos de explotación de flujos energéticos y recursos en el territorio que de alguna manera siempre tendrán un efecto sobre el sistema ambiental y por tanto la estrategia derivada debe siempre estar enfocada en la minimización de estos efectos.

Adicionalmente se encontró que el uso de recursos para la producción basado en flujos importados (combustibles, agroquímicos, fertilizantes, etc.) muestra dos estrategias diferenciadas: una, basada en la orientación de los procesos hacia un mayor aprovechamiento de los recursos naturales y la otra, hacia el incremento de la productividad basado en la explotación no renovable de los recursos. Aquí, la evaluación de estos aspectos permite no solo la medida objetiva de los procesos, los flujos, los efectos y las interacciones existentes en los sistemas estudiados, sino que también permite entonces la planificación, el desarrollo de escenarios y la toma de decisiones sobre el sistema, tal como fue planteado en los supuestos de esta investigación.

Por último, la formulación de los mecanismos para la integración de la energía y el territorio para su desarrollo y la búsqueda de su sostenibilidad en el largo plazo se entiende aquí como el desarrollo de seis principios así, la adaptación y el aprovechamiento como estrategias para maximizar los beneficios positivos en el uso de recursos libres renovables, la conservación y la recuperación en el uso de los recursos no renovables y la gestión e información en el uso de recursos importados.

Consideraciones adicionales

Además de los elementos estudiados en el alcance definido para esta investigación, durante el proceso de formulación y ejecución de este proyecto se identificaron una serie de temas puntuales que son de interés en la configuración de un campo de estudio y cuya implementación permitiría no solo profundizar en los hallazgos puntuales obtenidos en los resultados de este trabajo, sino también dar soporte al desarrollo de una línea de investigación propia, soportada en el estudio de la dinámica de integración de los sistemas ETD basado en la evaluación de sus flujos energéticos, eficiencia y sostenibilidad. Entre estos temas se encuentra:

- Aplicación de un enfoque de diseño centrado en las personas, con metodologías como *design thinking*, que permite el diseño rápido de soluciones a los problemas específicos de cada territorio tomando como base el conocimiento endógeno de las comunidades que lo integran. Así, sería posible definir no solo estrategias de desarrollo, sino también el diseño particular de mecanismos de intervención a los procesos territoriales basado en el análisis de sus flujos energéticos.
- Medición de los efectos particulares de acciones puntuales, lo cual puede hacerse tomando como base las medidas obtenidas en el modelo de síntesis emergética y combinando estas con modelos de simulación que permitan probar el efecto puntual de diferentes tipos de intervención, transferencia y adopción de tecnologías, sobre los sistemas territoriales estudiados.
- Evaluar y cuantificar el aporte de la entropía en los sistemas territoriales como una continuación del modelo de análisis propuesto, de manera que sea posible integrar en los sistemas no solo el efecto de la eficiencia energética como una estrategia de desarrollo, sino también medir las condiciones particulares que generan pérdida y afectaciones en el sistema estudiado.
- Dada la complejidad de los sistemas ETD en torno a las diferentes dimensiones que lo integran, la visión particular de los diferentes grupos de interés que lo componen y buscando maximizar el efecto positivo de la adopción de tecnologías puntuales para garantizar la sostenibilidad de sus procesos a largo plazo, se hace necesaria la implementación de mecanismos de toma de decisiones multicriterio

que permitan priorizar de manera social las diferentes alternativas que se puedan identificar para cada problema estudiado.

- El enfoque de sostenibilidad como un resultado puntual de la interacción entre los elementos que componen la ETD implica una visión de largo plazo que puede ser complementada y direccionada mediante procesos de planeación prospectiva y formulación de escenarios que permitan definir las estrategias necesarias para alcanzar los objetivos propuestos según la realidad particular de las comunidades involucradas.

BIBLIOGRAFIA

- Agostinho, F., Sevegnani, F., Almeida, C., Giannetti, B. (2016). Exploring the potentialities of emergy accounting in studying the limits to growth of urban systems. Ecological indicators. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.007>
- Agudelo, C., Torrente, A., Vargas, A. (2015). Evaluación comparativa de pérdidas de suelo en el corredor biológico entre parques nacionales Puracé y Cueva de los Guácharos en el Huila. Revista Colombiana de investigaciones agroindustriales, 41-52. Recuperado de: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia/article/download/168/201>
- Albuquerque, F. (1995). Espacio, territorio y desarrollo económico local. Santiago de Chile. Ed. CEPAL. Recuperado de: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/30528>
- Alcaldía de Pitalito. (2015). Ruta de cambio de Pitalito 2030. Pitalito. Alcaldía de Pitalito. Recuperado de: <http://www.alcaldiapitalito.gov.co/publicaciones/Ruta-Cambio-Pitalito.pdf>
- Alcaldía de Pitalito. (2016). Plan de desarrollo municipio de Pitalito, 2016-2019. Pitalito. Alcaldía de Pitalito. Recuperado de http://pitalito-huila.gov.co/apc-aa-files/35333563363431646635326162376136/acuerdo_022-2016.pdf
- Altschuler, B. (2013). Territorio y desarrollo: aportes de la geografía y otras disciplinas para repensarlos. Ed. Theomai. pp 64-79. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/124/12429901005.pdf>
- Amorós, M. (2014). A brief explanation of the concept of territory and its implications. Notas de conferencia. Compendio de Libcom.com. Recuperado de <https://libcom.org/library/brief-explanation-concept-territory-its-implications-miquel-amor%C3%B3s>
- Angulo, C. (2012). Elaboración de un texto de desarrollo socio-económico. Callao: Universidad Nacional del Callao. Recuperado de: http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_AGOSTO_2012/IF_ANGULO%20RODRIGUEZ_FCA/TEXTO.pdf
- Arcila, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta del café. En "Cenicafé, Sistemas de producción" (pág. 309). Chinchina: Cenicafé.

- Arrese, M., Blanco, G. (2016). Territory and non-conventional renewable energy: Lessons for the construction of public policy from the case of rukatayo alto, region of los ríos, Chile. *Gestión y política pública*, 165-202. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792016000100005&lng=es&nrm=iso
- Banco de la República. Subgerencia cultural. (2015). Definición de territorio. [Banrepcultural.org](http://www.banrepcultural.org). Bogotá. Servicios en línea. Recuperado de: http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/politica/territorio_1
- Banco Mundial. (2016). Datos de Densidad poblacional: en junio de 2016. Recuperado de: <http://data.worldbank.org/indicador/EN.POP.DNST?end=2015&start=2015&view=bar>
- Bandini, V., Benini, L., Marazza, D., Marotta, L., Vogli, L., & Contin, A. (2011). Local and regional resource and landscape management from the point of view of the next larger scale: The emergy synthesis perspective. *Emergy Synthesis 6: Theory and applications of the emergy methodology*. Actas de conferencia "6th biennial conference". Florida: Center for Environmental Policy. Universidad de Florida.
- Barkin, D. (s, f). El uso de la tierra agrícola en México. Recuperado de: <http://revistas.unam.mx/index.php/pde/article/viewFile/38016/34554>
- Barles, S. (2010). Society, energy and materials: The contribution of urban metabolism studies to sustainable urban development issues. *Journal of Environmental Planning and Management*, 439-455. DOI:10.1080/09640561003703772
- Beurain, C., & Bérenger, M. (2016). Les enjeux du développement de l'énergie solaire au Bénin. Quelques pistes de réflexion pour une approche territoriale. *Mondes en développement*, 59-76. DOI:10.3917/med.176.0059
- Beccali, M., Columba, P., D'Alberti, V., Franzitta, V. (2009). Assessment of bioenergy potential in Sicily: A GIS-based support methodology. *Biomass and Bioenergy*, 79-87. DOI:10.1016/j.biombioe.2008.04.019
- Bertoni, R., Castelnovo, C., Cuello, A., Fleitas, S., Pera, S., Rodríguez, J., & Rumeau, D. (2011). ¿Qué es el desarrollo?, ¿cómo se produce?, ¿Qué se puede hacer para promoverlo? Montevideo: UCUR. Recuperado de:

<http://prebisch.cepal.org/sites/default/files/Manual%20Qu%C3%A9%20es%20el%20Desarrollo%20Bertoni%20et%20al.pdf>

- Blaschke, T., Biberacher, M., Gadocha, S., Schardinger, I., (2013) 'Energy landscapes': Meeting energy demands and human aspirations, *Biomass and Bioenergy*, 55, 3-16. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.11.022
- Boisier, S. (2001). Desarrollo (local) ¿De qué estamos hablando? En A. Vasquez-Barquero, & O. Madoery, *Transformaciones globales, instituciones y políticas de desarrollo local* (pp. 48-74). Rosario - Argentina: Homo Sapiens. Recuperado de: http://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/1245948918.Desarrollo_Local_De_que_estamos_hablando_2.pdf
- Brandt-Williams, S. (2002). *Handbook of Emergy Evaluation Folio 4: Emergy of Florida Agriculture*. Florida: Center for Environmental Policy, University of Florida. Recuperado de: https://cep.ees.ufl.edu/emergy/documents/folios/Folio_04.pdf
- Brown, M., Green, P., Gonzalez, A., Venegas, J. (1992). *Emergy analysis perspectives, public policy options, and development guidelines for the coastal zone of Nayarit, Mexico*. Gainesville: Center for wetlands and water resources. Universidad de Florida. Florida. Recuperado de: <http://ufdc.ufl.edu/UF00016671/00001>
- Brown, M., Ulgiati, S. (2001). Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*. DOI: 10.1016/S0925-8574(97)00033-5
- Calcagno, E. (1990). Evolución y actualidad de los estilos de desarrollo. *Revista de la CEPAL*, 42, 55-67. Recuperado de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/11793/042055067_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Campbell, D., Ohrt, A. (2009). *Environmental Accounting Using Emergy: Evaluation of Minnesota*. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Recuperado de: <https://goo.gl/Yqhsig>
- CENICAFÉ. (2013a). *Federaciondecafeteros.org. Fertilizar bien, un excelente negocio*. Recuperado de: <https://www.federaciondecafeteros.org/pergamino-fnc/CartillaFertilizacinUnExcelenteNegocio.pdf>

- CENICAFÉ. (2013b). Tomo I. En F. N. Cafeteros, Manual del cafetero Colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (pág. 326). Legis.
- CENICAFÉ. (2016). Conservación del suelo en épocas de altas precipitaciones. Avances técnicos Cenicafé. Recuperado de: http://www.cenicafe.org/es/publications/AT_471-web.pdf
- Cenicafé. (S.F). Biblioteca Cenicafé. Erosión. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/695/4/Vol%201%20Erosión.pdf>
- CEP (Center for Environmental Policy – Universidad de Florida). (2016). National environmental accounting database. Datos para Colombia 2008. Recuperado de: <https://cep.ees.ufl.edu/nead/publications.php>
- CEPAL. (2011). Energía y desarrollo sustentable en América latina y el caribe: guía para la formulación de políticas energéticas: Recuperado de: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/27838>
- Chian, W. (2014). Ensuring access to electricity and minimum basic electricity needs as a goal for the post-MDG development agenda after 2015. Energy for Sustainable Development, 19, 29-38. DOI: 10.1016/j.esd.2013.11.005
- Coehlo, R. (2009). On the concept of energy: History and philosophy for science teaching. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2648-2652. DOI: 10.1016/j.sbspro.2009.01.468
- Cohen, M. J., Sweeney, S., King, D., Sheperd, G., Brown, M. (2012). Environmental accounting of national economic services: An analysis of west african dryland countries whitin a global context. Malta: United Nations environment Programme. Recuperado de: <https://europa.eu/capacity4dev/unep/document/environmental-accounting-national-economic-systems-analysis-west-african-dryland-countries->
- Coll, V., & Blasco, O. (2006). Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. Valencia: Universidad de Valencia. Recuperado de: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/197/>
- Cuadra, M., Rydberg, T. (2006). Emery evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. Ecological Modelling, 196(3-4), 421-433. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.02.010

- DANE. (2015). Resolución 1474 de 2015. Por medio de la cual se actualiza la metodología de elaboración del Indicador de Importancia Económica Relativa Municipal y los grados de importancia económica municipal: Recuperado de: http://www.dane.gov.co/files/acerca/Normatividad/resoluciones/2015/RES_1473_2015.pdf
- Dauer, J., Miller, H., & Anderson, C. (2014). Conservation of Energy: An Analytical Tool for Student Accounts of Carbon-Transforming Processes. En R. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff, Teaching and Learning of Energy in K-12 education (pp. 47-65). Springer. doi:10.1007/978-3-319-05017-1
- Del Río, P., & Burguillo, M. (2008). Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1325-1344. DOI:10.1016/j.rser.2007.03.004
- Departamento Nacional de Planeación. (2016a). Fichas e Indicadores Territoriales. Obtenido de Fichas de caracterización territorial: <https://ddtspr.dnp.gov.co/fit/#/fichas>
- Departamento Nacional de Planeación. (2016b). Kit territorial. Mapa del Sistema general de Regalías. Recuperado de: Mapa Nacional de Regalías. Obtenido de <http://maparegalias.sgr.gov.co/Produccion/FichaProduccion?periodosProduccion=2012,2013,2014,2015,2016&municipio=41551>
- Dincer, I., Rosen, M (Ed.s) (2013). Exergy: Energy, environment and sustainable development. Chapter 2: Exergy and energy analyses. Elsevier.
- Dincer, I., Zamfirescu, C (2014) Chapter 2 - Energy, Environment, and Sustainable Development, In *Advanced Power Generation Systems*. 55-93. Boston, Elsevier
- Dower, N. (1989). El desarrollo como proceso: Una investigación filosófica. *Revista filosofía*. Universidad de Costa Rica, 281-292. Recuperado de <http://www.inif.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista%20de%20Filosof%C3%ADa%20UCR/Vol.XXVII/No.%2066/EI%20desarrollo%20como%20proceso%20Una%20investigacion%20filosofica.pdf>

- Dubois, A. (s.f.). Definición de Desarrollo. En: Diccionario de Acción Humanitaria, y Cooperación al Desarrollo. Recuperado de: <http://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/67>
- Duit, R. (2014). Teaching and learning the physics energy concept. En R. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff, Teaching and Learning of Energy in K-12 education, pp. 67-86. Springer. doi:10.1007/978-3-319-05017-1
- Duque, H., & Dussán, C. (2004). Productividad de la mano de obra en la cosecha de café en cuatro municipios de la región cafetera central de caldas. Cenicafé, 246-258. Recuperado de <http://www.cenicafe.org/es/publications/arc055%2803%29246-258.pdf>
- Eisenkraft, A., Nordine, J., Chen, R., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., & Sheff, A. (2014). Introduction: Why Focus on Energy instruction? En R. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff, Teaching and Learning of Energy in K-12 education (págs. 1-14). Springer. doi:10.1007/978-3-319-05017-1
- Elden, S. (2010). Thinking Territory Historically. Geopolitics roundtable, 757-761. doi:http://dx.doi.org/10.1080/14650041003717517
- Elden, S. (2011). Territory I. En J. Agnew, & J. Duncan, The Wiley-Blackwell companion to human geography (p. 615). Oxford: Wiley-Blackwell.
- FAO (Food and Agriculture Organization for the United Nations). (2016). Hoja de Balance de Alimentos Colombia. 2014. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4301s.pdf>
- Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the royal statistical society, 120 (3), 253-290. Recuperado de: <http://www.aae.wisc.edu/aae741/Ref/Farrell%201957.pdf>
- Fernández, M., Sánchez, J. (1997). Eficacia organizacional: concepto, desarrollo y evaluación. Madrid: Díaz de Santos.
- Foran, T., Fleming, D., Spandonide, B., Williams, R., & Race, D. (2016). Understanding energy-related regimes: A participatory approach from central Australia. Energy policy, 315-324. DOI:10.1016/j.enpol.2016.01.014

- Fournis, Y., & Fortin, M. (2016). From social 'acceptance' to social 'acceptability' of wind energy projects: towards a territorial perspective. *Journal of environmental planning and management*, 1-21. doi:10.1080/09640568.2015.1133406
- Giannetti, B., Ogura, Y., Bonilla, S., Almeida, C. (2011). Accounting energy flows to determine the best production model of a coffee plantation. *Energy policy*, 39(11), 7399-7407. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.09.005
- Gobattoni, F., Pelorosso, R., Lauro, G., Monaco, R. (2011). A procedure for mathematical analysis of landscape evolution and equilibrium scenarios assessment. *Landscape and urban planning*, 289-302. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.08.011
- Gobernación de Cundinamarca. (2014). Economía departamental. Estadísticas de Cundinamarca 2011-2013. Recuperado de: http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/383099af-5266-406e-b1ce-7f1e19560c5a/Cap_09.pdf?MOD=AJPERES
- Gobernación del Huila. (2016). Sistema de Información Regional SIRHuila. Evaluación agrícola y estadísticas históricas. Recuperado de: <http://sirhuila.com.co/index.php>
- Golušin, M., Dodić, S., Popov, S. (2013). Sustainable Energy Management. Serbia. Elsevier Inc. DOI: 10.1016/C2011-0-05403-0
- Gómez, J. (2016). Impact of European territorial cooperation (ETC) on the promotion and use of solar energy in the Mediterranean. *Regional studies, regional science*, 185-192. DOI:10.1080/21681376.2016.1150198
- Gómez, A. (1986). Biblioteca CENICAFÉ. Manejo y control integrado de malezas en el cultivo de café en Colombia. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/717/9/9%20Manejo%20y%20control%20integrado%20malezas.pdf>
- González, A. (2015). Valoración de la sustentabilidad de los policultivos cafeteros del Centro-occidente y Sur-occidente de Colombiano. (Tesis Doctoral). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia
- González, R. (2010). Utilización del análisis envolvente de datos (DEA) en el desarrollo de una metodología para el establecimiento de costos eficientes de remuneración, en

la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de distribución eléctrica. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional. Santafé de Bogotá.

Gottmann, J. (1973). The significance of territory. Charlottesville: University of Virginia Press. Recuperado de:

<http://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/bernardo/BIBLIOGRAFIA%20DISCIPLINAS%20POS-GRADUACAO/JEAN%20GOTTMANN/Gottman,%20Jean%20The%20Significance%20of%20territory.pdf>

Guan, F., Sha, Z., Zhang, Y., Wang, J., Wang, C. (2016). Energy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet Autonomous Region, China. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 17(8), 628–639. <http://doi.org/10.1631/jzus.B1500154>

Hall, C. (2012). Energy return on investment. (F. f. ecology, Ed.) Post Carbon Institute. Recuperado de: http://energy-reality.org/wp-content/uploads/2013/05/09_Energy-Return-on-Investment_R1_012913.pdf

Hanley, N., McGregor, P., Swales, J., Turner, K. (2009). Do increases in energy efficiency improve environmental quality and sustainability?. *Ecological Economics*, 68 (3) 692-709. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.004

Haydt, G., Leal, V., Dias, L. (2013) Uncovering the multiple objectives behind national energy efficiency planning, *Energy Policy*, 54, 230-239. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.11.027

Herring, H. (2000). Is energy efficiency environmentally friendly?. *Energy and environment*, 11 (3), 313-325. DOI: 10.1260/0958305001500167

Howard, D., Burgess, P., Butler, S., Carver, S., Cockerill, T., Coleby, A., Scholefield, P. (2013). Energyscapes: Linking the energy system and ecosystem services in real landscapes. *Biomass and Bioenergy*, 55, 17-26. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.05.025

IDEAM. (s.f.). Socialización de los avances en la zonificación de línea base de degradación por erosión a nivel nacional. *Gestión ambiental del recurso suelo*. Recuperado de:

http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Socializacion_avance_erosion.pdf/110fe407-5b10-42a5-913a-43400ed9ae6d

IDEAM. (2015). Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011 – 2100. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022964/documento_nacional_departamental.pdf

IDEAM. (2016). Atlas de radiación solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. Visor SIG. Recuperado de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1994). Estudio general de suelos del Departamento del Huila. Bogotá: IGAC. Recuperado de ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/DEPARTAMENTALES_2011_Brayan_Silvia/HUILA/Memoria%20Tecnica/INTRODUCCI%C3%93N%20TOMO%20I.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC (2016). Sistema de Información Geográfico para el ordenamiento territorial. Recuperado el 21 de Octubre de 2016, de SIGOT-IGAC: http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_pagina.aspx

Jablonsky, J. (2008). DEA-Excel (a MS Excel based system for DEA models). Recuperado de <http://nb.vse.cz/~jablon/dea.htm>

Jaccard, M. (1997) Oscillating currents: The changing rationale for government intervention in the electricity industry. *Energy Policy*, 23 (7), 579-592. DOI: 10.1016/0301-4215(95)98213-C

Jankilevich, S. (2003). Las cumbres mundiales sobre el ambiente. Estocolmo, Río y Johannesburgo. 30 años de Historia Ambiental. Recuperado de: http://www.ub.edu.ar/investigaciones/dt_nuevos/106_jankilevich.PDF

Johanson, T. (2009). Energy for sustainable development. UN-DESA side event at the Barcelona Climate Change Talks. Barcelona: U.N. Recuperado de https://sustainabledevelopment.un.org/content/dsd/dsd_aofw_cc/cc_pdfs/cc_sideevent1109/Energy_for_sustainable_development_johansson.pdf

Jordan, C. (2013). *An Ecosystem Approach to Sustainable Agriculture*. Atenas, Georgia: Springer Verlag. DOI:10.1007/978-94-007-6790-4

- Karakosta, C., Askounis, D. (2010) Developing countries' energy needs and priorities under a sustainable development perspective: A linguistic decision support approach. *Energy for Sustainable Development*, 14 (4), 330-338. DOI: 10.1016/j.esd.2010.07.008
- Kursun, B. (2013). *Towards Design of Sustainable Energy Systems in Developing Countries: Centralized and Localized Options*. Ohio: The Ohio state university. Recuperado de https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=osu1373372115&disposition=inlin
e
- Levy, J. (2011). Territory II. En J. Agnew, & J. Duncan, *The Wiley-Blackwell companion to human geography* (p. 615). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Liu, X., & Park, M. (2014). Contextual Dimensions of the Energy Concept and Implications for Energy Teaching and learning. En R. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff, *Teaching and Learning of Energy in K-12 education*, pp. 175-186. Springer. doi:10.1007/978-3-319-05017-1
- Long, X., Ulgiati, S. (2016). Is urbanization eco-friendly? An energy and land use cross-country analysis. *Energy Policy*. 100, 387-396 DOI:10.1016/j.enpol.2016.06.024.
- Mardani, A., Kazimieras, E., Streimikiene, D., Jusoh, A., & Koshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1298-1322. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.030
- MCCH (Mild Coffee Company Huila). (2016). Café del Huila con gran respaldo y reconocimiento de la ciencia. *Diario La Nación* 16 de Septiembre. Recuperado de <http://www.lanacion.com.co/index.php/especiales/item/276593-cafe-del-huila-con-gran-respaldo-y-reconocimiento-de-la-ciencia>
- McEwan, C. (2017). Spatial processes and politics of renewable energy transition: Land, zones and frictions in South Africa. *Political geography*, 1-12. DOI:10.1016/j.polgeo.2016.10.001
- Mendes, G., Ioakimidis, C., Ferrão, P. (2011). On the planning and analysis of Integrated Community Energy Systems: A review and survey of available tools, *Renewable*

and Sustainable Energy Reviews, 15(9), 4836-4854. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.067

Ministerio de Agricultura. (2016). Agronet. Red información y comunicación del sector agropecuario colombiano. Recuperado de: <http://www.agronet.gov.co/Paginas/default.aspx>

Mirakyan, A., De Guio, R. (2013). Integrated energy planning in cities and territories: A review of methods and tools. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 289-297. DOI: 10.1016/j.rser.2013.01.033

Mohd, N., & Abdul, K. (2016). Wave power potential in Malaysian territorial waters. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP. Recuperado de <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/37/1/012018/meta>

Naciones Unidas. (2017). Concepto de Desarrollo. Desarrollo sostenible. Recuperado de: <http://www.un.org/es/sections/what-we-do/promote-sustainable-development/>

NASA, EOS. (2016). NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables. Datos disponibles para Pitalito – Huila. Latitude 1.93 / Longitude -76.21. Recuperado de: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=104092&lat=1.93&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=swvdowncook&p=swv_dwn&p=wspd50m&p=RAIN&p=srf_alb&step=2&lon=-76.21

Ockwell, D., Watson, J., MacKerron, G., Pal, P., Yamin, F., Vasudevan, N. (2007). UK-India collaboration to identify the barriers to the transfer of low carbon energy technology. Londres, University of Sussex. Recuperado de: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/politica_economia/ingles/uk_india_full.pdf

Odum, H. Pinkerton, R., (1955). Time's speed regulator: the optimum efficiency for maximum power output in physical and biological systems. American Scientist, 331-343. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/27826618>

Odum, H. (1996). Environmental accounting. Gainesville (Florida): John Willey and sons.

Ordoñez, C., Suarez, J., Oyola, F., Vega, G., & Suarez, A. (2013). Caracterización socioeconómica de fincas con arreglos agroforestales de la zona sur cafetera de

- Colombia. Momentos de ciencia, 10(1) 40-48. Recuperado de: <http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/momentos-de-ciencia/article/viewFile/250/41-49>
- Oxford University Press. (2017). Dictionary online. Efficiency. Recuperado de: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/efficiency>
- Painter, J. (2010). Rethinking territory. *Antipode: A radical journal of geography*, 1090-1118. doi:10.1111/j.1467-8330.2010.00795.x
- Pardo, C (2015). Energy and sustainable development in cities: A case study of Bogotá. *Energy*, 92, 612-621. DOI: 10.1016/j.energy.2015.02.003
- Pérez, E. (2014). El discurs de l'energia, l'herència de Thomas Young. *Actes d'història de la ciència I de la tècnica*, 87-113. DOI: 10.2436/20.2006.01.179
- Poveda, M. (2007). Eficiencia energética: recurso no aprovechado. Artículos técnicos. OLADE. Recuperado de <http://www.olade.org/sites/default/files/portalee/EFICIENCIA%20ENERG%C3%89TICA%20RECURSO%20NO%20APROVECHADO-Agosto-2007.pdf>
- Prindle, B., Eldridge, M. (2007). *The Twin Pillars of Sustainable Energy: Synergies between Energy Efficiency and Renewable Energy Technology and Policy*. Washington: American council for an Energy-Efficient economy. ACEEE. doi=10.1.1.545.4606
- Quan, J., & Nelson, V. (2005). Territory and rural development: concepts, methods and approaches. *Land Access and Participatory territorial development*. Recuperado de https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08c8f40f0b652dd0013e2/R8376_2-Territory-and-rural-development.pdf
- Quinn, H. (2014). A Physicist's Musings on Teaching about energy. En R. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff, *Teaching and Learning of Energy in K-12 education* (pp. 15-36). Springer. doi:10.1007/978-3-319-05017-1
- RAE. (2016). Diccionario de la lengua española. Definición de territorio. Recuperado de: <http://dle.rae.es/?id=ZcqJYVW>

- RAE. (2017). Diccionario de la lengua española. Definición de Desarrollo. Recuperado de:
<http://dle.rae.es/?id=CTzcOCM>
- RAE. (2017). Diccionario de la lengua española. Definición de Eficiencia. Recuperado de:
<http://dle.rae.es/?id=CRTcOCM>
- Rashid, T. (s.f). International development. Governance Institute. Australia. Recuperado de:
<http://www.governanceinstitute.edu.au/magma/media/upload/ckeditor/files/International%20Development.pdf>
- Ren, J., Manzardo, A., Mazzi, A., Fedele, A., Scipioni, A. (2013). Energy Analysis and Sustainability Efficiency Analysis of Different Crop-Based Biodiesel in Life Cycle Perspective. The Scientific World Journal. <http://doi.org/10.1155/2013/918514>
- Requejo, J. (2011). Territory and energy. Mechanical order vs. organic order. Hábitat y Sociedad, 33-47.
- Restrepo, M., & Villegas, J. (2007). Clasificación de grupos de investigación Colombianos aplicando análisis envolvente de datos. Revista facultad de ingeniería. Universidad de Antioquia, 105-119. Recuperado de
<http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro042/Clasificaciondegruposdeinvestigacioncolombianos.pdf>
- Ríos, J. (2013). La crisis cafetera. Curso. Coyuntura política colombiana. Universidad de los Andes. Recuperado de:
<https://politicacolombiana2013.wordpress.com/2013/03/06/la-crisis-cafetera-2/>
- Romo, L., Fernández, V., Guerrero, P., Moya, F. (2012). World scientific production on renewable energy, sustainability and the environment, Energy for Sustainable Development, 16 (4), 500-508, DOI: 10.1016/j.esd.2012.06.005
- Salazar, L., Hincapie, E. (2006). Causas de los movimientos masales y erosión avanzada en la zona cafetera colombiana. Avances técnicos CENICAFÉ, 1-8. Recuperado de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0348.pdf>
- Saquet, M. (2015). Por una geografía de las territorialidades y las temporalidades: Una concepción multidimensional orientada a la cooperación y el desarrollo territorial. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias

- de la Educación. Recuperado de:
<http://www.libros.fahce.unlp.edu.ar/index.php/libros/catalog/book/50>
- Sassen, S. (2013). When Territory Deborders Territoriality. *Territory, politics, governance*, 1(1), 21-45. DOI:10.1080/21622671.2013.769895
- Sciubba, E., Ulgiati, S. (2005). Energy and exergy analyses: Complementary methods or irreducible ideological options? *Energy*, 1953-1988. DOI: 10.1016/j.energy.2004.08.003
- Segura, M. (2014). Desarrollo, realidad o discurso. *Vida científica. Ensayos*. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. Recuperado de:
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/1901/1907>
- Seiford, L., & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142 (1), 16-20. DOI: 10.1016/S0377-2217(01)00293-4
- Sepúlveda, M. (2011). Estrategia competitiva y canales de distribución: estudio de casos y análisis de eficiencia para empresas floricultoras de la sabana de Bogotá. (Tesis de Maestría). Universidad de la Sabana. Santafé de Bogotá.
- Shkarlet, S., Kholiavko, N., Dubyna, M. (2015). Territorial reform in the system of strategic management of energy-economic and information spheres of the state. *Economic annals XXI*, 103-107. Recuperado de
http://soskin.info/project/uncp/ukr/ch2/d2/2015/n5-6/zmist_eng.htm
- Sistema de información ambiental de Colombia. (2016). Suelo. Area degradada por erosión. Recuperado de: <http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Suelo/suelo.xhtml>
- Suca, F., Suca, G., Siche, R. (2012). Sostenibilidad ambiental del sistema de producción de café orgánico en la región de Junin. *Apuntes en ciencias sociales*, 2(2). 118-129. Recuperado de:
<http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/download/53/52>
- Sunkel, O., Paz, P. (1970). El subdesarrollo latinoamericano y la teoría del desarrollo. Ciudad de México: Siglo XXI Editores. Recuperado de:

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1604/S33098159S1_es.pdf?sequence=1

- Thoyre, A. (2015). Energy efficiency as a resource in state portfolio standards: Lessons for more expansive policies. *Energy policy*, 625-634. doi:10.1016/j.enpol.2015.08.015
- Toman, M., Jemelkova, B. (2002). Energy and economic development: An assessment of the state of knowledge. Centro de Ciencia y política ambiental. Universidad de Stanford. Recuperado de http://pesd.fsi.stanford.edu/sites/default/files/eng_econ_dev.pdf
- Troy, A (2014). *The very hungry city: Urban energy efficiency and the economic fate of cities*. Londres: Yale University Press.
- Turner, K., Hanley, N (2011) Energy efficiency, rebound effects and the environmental Kuznets Curve. *Energy Economics*, 33(5), 709-720. DOI: 10.1016/j.eneco.2010.12.002
- UN (2015). *Objetivos y metas de Desarrollo sostenible*. Recuperado de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-y-metas-de-desarrollo-sostenible/>.
- UNODC. (2016). *Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos*. Bogotá: Oficina de las Naciones Unidas para la driga y el delito. Recuperado de https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Monitoreo_Cultivos_ilicitos_2015.pdf
- Vara, A (2010). *Como medir la calidad de las tesis doctorales en educación*. Lima, Universidad San Martín de Porres.
- Vasquez-Barquero, A. (2007). *Desarrollo endógeno. Teorías y políticas de desarrollo territorial*. Investigaciones Regionales. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28901109>
- Vega, R., Glaus, M., Hausler, R., Oropeza, N., Romero, R. (2013). An emergy analysis for urban environmental sustainability assessment, the Island of Montreal, Canada. *Landscape and Urban Planning*, 118, 18-28. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.06.001

- Veltmeyer, H. (2010). Una sinopsis de la idea de desarrollo. *Migración y desarrollo*, 8 (14), 9-34. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-75992010000100002&script=sci_arttext
- Vito Comar, M. (1998). *Avaliação energética de projetos agrícolas e agro-industriais: a busca do Desenvolvimento Sustentável*. (Tesis doctoral). Universidad estatal de Campiñas. Campiñas, Brasil.
- Wang, D. (2014) A dynamic optimization on economic energy efficiency in development: A numerical case of China. *Energy*, 66, 181-188. DOI: 10.1016/j.energy.2014.01.054
- WECD. Comisión económica de ambiente y desarrollo. (1987). *Our common future* (Brundtland report). Naciones Unidas. Recuperado de: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Yamaguchi, Y., Shimoda, Y., Mizuno, M. (2007). Transition to a sustainable urban energy system from a long-term perspective: Case study in a Japanese business district, *Energy and Buildings*. 39 (1). 1-12. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.03.031
- Zhang, Z., Chen, X., Heck, P. (2014). Energy-Based Regional Socio-Economic Metabolism Analysis: An Application of Data Envelopment Analysis and Decomposition Analysis. *Sustainability*, 8618-8638. doi:10.3390/su6128618

ANEXOS

Anexo 1: Proceso de revisión cuantitativa

Para este trabajo, y la construcción del análisis teórico sobre la dinámica de integración de los términos: Energía, Territorio y Desarrollo, se aplicó un modelo de estudio cuantitativo de la producción científica existente en Scopus. Este modelo de análisis se aplicó dada su facilidad para lograr una evaluación eficiente y objetiva de la estructura, la dinámica, las interrelaciones conceptuales y el rendimiento de la investigación en un campo del saber determinado, cada una de las etapas aplicadas en este estudio se describe a continuación.

Primera etapa: Revisión bibliográfica individual

La búsqueda bibliográfica en la primera fase se realizó con la intención de:

- Obtener una visión general del uso de Energía, Territorio y Desarrollo en la producción científica;
- Identificar la tendencia de producción, áreas de trabajo y autores principales;
- Identificación de trabajos referenciales vinculados con la problemática de definición específica de cada elemento ETD.

En general, para todo el proceso de revisión y análisis se muestran los resultados depurados, eliminando por ejemplo referencias vinculadas a áreas del conocimiento como medicina, veterinaria o bioquímica, donde los resultados obtenidos no tienen coincidencia con el campo de aplicación de este trabajo. En la mayoría de los casos, el criterio de búsqueda mostrado incluye los criterios de delimitación aplicados; cuando este no sea mostrado, en el texto relacionado se brindará información acerca de los mecanismos de depuración. En la siguiente se muestra el resumen de los criterios de búsqueda aplicados y el número de resultados obtenidos en la primera etapa de revisión:

Tabla Resultados obtenidos en la búsqueda de palabras claves en la literatura científica.

Término	Criterio	Fecha búsqueda	Resultados
Territorio	"territory"	Marzo 2017	110.536 Se delimitó la búsqueda posteriormente a: ciencias sociales, agricultura y ciencias biológicas, obteniendo 3.160 artículos
Desarrollo	"development"	Marzo 2017	1.400.000 referencias en todas las áreas

Energía	"energy"	Marzo 2017	3.583.470 referencias en todas las áreas 345.114 referencias en el área "energy"
---------	----------	------------	---

Segunda etapa: Revisión de términos interrelacionados

Se realizó el análisis de documentos existentes que involucraban de manera conjunta al menos dos de los tres términos en que se enfoca este estudio, así: Territorio-Desarrollo, Energía-Territorio y Energía Desarrollo, analizando posteriormente la aparición conjunta de los tres (Energía-Territorio-Desarrollo). Para esto se delimitó la búsqueda al criterio de aparición de cada término, reseñado como una palabra clave (*keyword*) dentro de los trabajos. En esta etapa, la búsqueda y el análisis perseguían como propósito:

- Obtener una visión general de la estructura y la dinámica de investigación en los temas analizados;
- Analizar las tendencias y la correlación existentes de manera tácita en la literatura científica

Para esto se realizó un proceso de búsqueda y depuración de datos, cuyos resultados son mostrados a continuación.

Resultados obtenidos en la búsqueda de términos claves interrelacionados en la literatura científica.

Relación	Eq. Búsqueda	#Art. Bruto	#Art. Depurado
Territorio – Desarrollo	(KEY (territory*) AND KEY (developm*)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar"))	1993	1928
Territorio – Energía	(KEY (energ*) AND KEY (territor*))	417	234
Desarrollo – Energía	(KEY (energ*) AND KEY (developm*)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENER")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ECON"))	255	254
Territorio – Desarrollo – Energía	(KEY (energ*) AND KEY (territor*) AND KEY (develop*))	62	50

Para esta etapa, dado el interés de analizar de manera detallada cada pareja de términos y su relación, la delimitación se enfocó en la selección únicamente de artículos (excluyendo libros, trabajos en eventos y documentos de referencia), y los resultados

obtenidos fueron depurados uno a uno, excluyendo del análisis trabajos no vinculados con el propósito de este estudio. Para el análisis de la estructura y las tendencias se aplicó el diseño de mapas de tendencias basados en la correspondencia mostrada con la aplicación del análisis Njoin.

Anexo 2. Listado de anexos electrónicos

A continuación se presenta el listado de anexos electrónicos correspondientes a archivos de cálculo y soporte al desarrollo de este proyecto. Se presentan de manera electrónica para su descarga debido a la naturaleza y extensión de los archivos analizados.

Estos anexos se encuentran disponibles y con libre acceso en una carpeta pública en Dropbox; Adicionalmente se pone a disposición del público los siguientes correos electrónicos para su consulta

collector@enerstud.com

social@enerstud.com

Anexo electrónico 1: Archivos de datos y metodología de revisión cuantitativa

Anexo electrónico 2: Archivo de síntesis energética en Pitalito

Anexo electrónico 3: Instrumento de caracterización y cálculo de síntesis energética en proceso de café

Anexo electrónico 4: Archivo de cálculo de eficiencia bajo el modelo DEA

El enlace a las carpetas de anexos electrónicos es el siguiente:

<https://www.dropbox.com/sh/vyzir41ve22h7d6/AACeJhtlqqpMUIBOzN40CUQa?dl=0>