

**Evaluación Dinámica del Impacto en la Implementación de Energías Renovables en
Zonas de Difícil Acceso desde un enfoque de sostenibilidad.**

Hayver Hernado Orozco Castaño

Andres Felipe Mancilla Urrego

GUADALAJARA DE BUGA

Faculta de Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de Dios

2022

**Evaluación Dinámica del Impacto en la Implementación de Energías Renovables en
Zonas de Difícil Acceso desde un enfoque de sostenibilidad.**

HAYVER HERNANDO OROZCO CASTAÑO

ANDRES FELIPE MANCILLA URREGO

Trabajo presentado para obtener el título de Ingeniero Industrial

Director

ANDRES MAURICIO PAREDES RODRIGUEZ

Magister en Ingeniería

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA INGENIRIA INDUSTRIAL

GUADALAJARA DE BUGA

2022

Nota de aceptacion

—

—

Presidente del jurado

—

Jurado

—

Jurado

—

Jurado

—

Dedicatoria

Dedicado primeramente a Dios por darme la oportunidad de educarme y por su inmenso amor, a mi madre, pues sin ella no lo había logrado, tú bendición diaria me ha protegido y me ha llevado por el buen camino, a mi familia por su apoyo y comprensión.

ANDRES FELIPE MANCILLA URREGO

Este trabajo de grado lo dedico especialmente a Dios por su sabiduría y entendimiento, a mi madre que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con cada uno de mis sueños, a mi esposa por su amor, sacrificio, esfuerzo, por creer en mis capacidades y ser mi apoyo en los momentos difíciles, te amo por siempre estar ahí, a mi familia por sus consejos y tolerancias brindadas durante mi
carrera.

HAYVER HERNANDO OROZCO CASTAÑO

Agradecimientos

En primera instancia agradecemos a nuestro director el profesor Andrés Mauricio Paredes Rodríguez y al profesor Diego León Peña por sus enseñanzas, guía y apoyo, para el desarrollo de nuestro trabajo de grado, a nuestros compañeros, al grupo docentes de la Carrera y por último a la Corporación Universitaria Minuto de Dios por acogernos para poder cumplir nuestra meta de ser profesionales.

Resumen.

En este trabajo de investigación se aborda el problema de electrificación que presenta las zonas no interconectadas (ZNI) del país, se le conoce con este nombre a todas las localidades, veredas, pueblos entre otros, que no hacen parte o no están conectados al Sistema Interconectado nacional (SIN) y por lo general se encuentran en las zonas rurales del territorio nacional, debido a su ubicación cuentan con unas características geográficas que impiden su conexión a la red tradicional. En este proyecto se busca evaluar el impacto que tiene la implementación de energías renovables no convencionales en las zonas de difícil acceso en el ámbito social, económico y ambiental, para conseguir estos resultados se utilizara la herramienta Dinámica de Sistemas, esta nos permite el estudio de comportamientos de sistemas mediante la construcción de un modelo de simulación de los escenarios, arrojando los resultados necesarios para la toma de decisiones en el caso de estudio, el cual es la comunidad de la vereda Las Frías, Corregimiento de la Habana, Zona rural media del municipio de Guadalajara de Buga.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCION	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
4. MARCO DE REFERENCIA	20
4.1 MARCO CONCEPTUAL.....	20
4.2 MARCO NORMATIVO	21
4.3. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	25
5. CARACTERIZACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	31
6. METODOLOGÍA.....	35
7. ELABORACION DE DIAGRAMA CAUSAL	38
7.1 CASO DE ESTUDIO	47
7.2 DEFINICIÓN VARIABLES DEL CASO DE ESTUDIO.....	49
7.3 CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DE FORRESTER	54
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
9. CONCLUSIONES.....	102
10. REFERENCIAS.....	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco normativo	22
Tabla 2. Variables identificadas del diagrama causal	38
Tabla 3. Predios aprovechados.	48
Tabla 4. Personas migrantes a la población de la zona no interconectada.	61
Tabla 5. Nivel de población de la zona no interconectada.....	62
Tabla 6. Personas emigrantes a la población de la zona no interconectada.....	63
Tabla 7. Creación de industrias.	64
Tabla 8. Industrias en la zona no interconectada.	65
Tabla 9. Industrias en las zonas interconectada.....	67
Tabla 10. Contratación de nuevos empleados.....	68
Tabla 11. Despido de empleados.....	70
Tabla 12. Costo de instalación de aerogeneradores.....	71
Tabla 13. Costo de instalación de paneles solares.	72
Tabla 14. Huella de carbono.	73
Tabla 15. Consumo de agua.....	74
Tabla 16. Gráfico de energía biomasa generadas.	75
Tabla 17. Energía Eólica generada.....	76
Tabla 18. Personas migrantes	78
Tabla 19. Análisis de sensibilidad de la población de la zona no interconectada	79
Tabla 20. Análisis de sensibilidad de personas emigrantes	81
Tabla 21. Análisis de sensibilidad de población de zonas interconectadas	82
Tabla 22. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de hogares.....	83
Tabla 23. Análisis de sensibilidad de los numero de hogares	84
Tabla 24. Análisis de sensibilidad de numero de paneles solares.....	86
Tabla 25. Análisis de sensibilidad de las creaciones de industrias.....	87
Tabla 26. Análisis de sensibilidad de las industrias en la zona no interconectada	89

Tabla 27. Análisis de sensibilidad de migración de industria.....	90
Tabla 28. Análisis de sensibilidad de las industrias en las zonas no interconectadas	92
Tabla 29. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de industria	93
Tabla 30. Análisis de sensibilidad de contratación de nuevos empleados.....	95
Tabla 31. Análisis de sensibilidad de oferta de energía eléctrica	96
Tabla 32. Análisis de sensibilidad del margen del sistema eléctrico	98
Tabla 33. Análisis de sensibilidad de la cantidad de residuos agrícolas	100

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Resultado de personas migrantes	61
Gráfico 2. Resultado de la población de la zona no interconectada.....	62
Gráfico 3.Resultado de personas emigrantes.	63
Gráfico 4. Resultado Creación de industrias.	64
Gráfico 5. Resultado de las Industrias en la zona no interconectada.	65
Gráfico 6. Resultado de la migración de industria.	66
Gráfico 7. Resultado de las Industrias en las zonas interconectada.	67
Gráfico 8. Resultado de las contrataciones de nuevos empleados.	68
Gráfico 9. Resultado de número de personas laborando.....	69
Gráfico 10. Resultado Despido de empleados.....	70
Gráfico 11. Resultado Costo de instalación de aerogeneradores.....	71
Gráfico 12. Resultado Costo de instalación de paneles solares.	72
Gráfico 13. Huella de carbono.	73
Gráfico 14. Resultado del Consumo de agua.....	75
Gráfico 15. Resultado Gráfico de energía biomasa generadas.	76
Gráfico 16. Resultado de energía Eólica generadas.....	77
Gráfico 17. Análisis de sensibilidad de personas Migrantes.....	79
Gráfico 18. Análisis de sensibilidad de la población de la zona no interconectada.	80
Gráfico 19. Análisis de sensibilidad de personas emigrantes.....	81
Gráfico 20. Análisis de sensibilidad de población de zonas interconectadas.	83
Gráfico 21. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de hogares.....	84
Gráfico 22. Análisis de sensibilidad de los números de hogares.	85
Gráfico 23. Análisis de sensibilidad de numero de paneles solares.....	86
Gráfico 24. Análisis de sensibilidad de las creaciones de industrias.....	88
Gráfico 25. Análisis de sensibilidad de las industrias en la zona no interconectada.	89
Gráfico 26. Análisis de sensibilidad de migración de industria.....	91

Gráfico 27. Análisis de sensibilidad de las industrias en las zonas interconectadas.....	92
Gráfico 28. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de industria.	94
Gráfico 29. Análisis de sensibilidad de contratación de nuevos empleados.....	95
Gráfico 30. Análisis de sensibilidad de la oferta de energía eléctrica.	97
Gráfico 31. Análisis de sensibilidad del margen del sistema eléctrico.	98
Gráfico 32. Análisis de sensibilidad de la cantidad de residuos agrícolas.	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estudios energías renovable 1990-2021	26
Figura 2. Porcentajes de fuentes de energías renovables utilizadas.	28
Figura 3. Metodología de implementación de dinámica de sistemas en la evaluación del impacto de las energías renovables	36
Figura 4. Diagrama causal: En esta sección del diagrama causal se puede observar la relación que existe entre las variables sociales.	40
Figura 5. Diagrama causal: En esta parte del diagrama se muestra la relación entre las variables económicas.	41
Figura 6. Diagrama causal: Relación de las variables del sistema que generan impacto ambiental.	42
Figura 7. Diagrama causal: Interacción de las variables en el proceso de generación de energía Biomasa.	43
Figura 8. Diagrama causal: Interacción de las variables en la generación de energía Solar fotovoltaica.	44
Figura 9. Diagrama Causal: Interacción de variables en el proceso de generación de energía Eólica.	45
Figura 10. Diagrama causal completo.	46
Figura 11. Diagrama de Forrester: En esta sección del diagrama de forrester se relacionan las variables de industria en las zonas interconectadas y no interconectadas.	54
Figura 12. Diagrama de Forrester: En esta fase del diagrama se presenta el Margen del sistema eléctrico y la interacción entre las variables de oferta y demanda eléctrica.	55
Figura 13. Diagrama de Forrester: Relación entre las variables Población de las zonas interconectadas y no interconectadas.	56
Figura 14. Diagrama de Forrester: Se relacionan las variables de nuero de personas laborando, contratación de nuevos empleados y despido de empleados.	57

Figura 15. Diagrama de Forrester: En esta fase del diagrama se muestra la interacción de las variables en la generación de energía solar.....	58
Figura 16. Diagrama de Forrester: Se presentan la relación entre las variables en la generación de energía eólica.....	59
Figura 17. Diagrama de Forrester: Se presentan la relación entre las variables en la generación de energía biomasa.	59

1 INTRODUCCION

Las energías renovables se caracterizan por obtenerse de fuentes naturales y que a su vez son inagotables, ya que son capaces de regenerarse por medios naturales, entre ellas se encuentra la energía eólica, energía solar, biomasa y geotérmica entre otras. Una de las ventajas de este tipo de energías es que tienen un bajo o nulo efecto negativo sobre el medio ambiente y por esto obtienen también el nombre de energías limpias (Schallenberg et al., 2008).

Un inconveniente que presenta las energías renovables en especial la eólica y solar, es que no hay un flujo constante del recurso natural, lo cual ocasiona unas fluctuaciones de potencia en el proceso de generación de la electricidad y afecta la estabilidad en la red, para corregir esto se requiere la integración de sistema de almacenamiento de energía (baterías) que compense o mitigue las variaciones de potencia (Mejía & Londoño, 2011). Por lo general estas baterías son hechas de Iones de Litio, para obtener los metales y componentes necesarios para la fabricación de estas baterías se requiere de la explotación minera, posteriormente hay que tener presente que cuentan con una vida útil, lo que indica que culminado su ciclo se debe hacer una correcta disposición final y reciclaje de sus componentes con el fin de mitigar el impacto al medio ambiente (González, 2022).

Hasta mediados de los años 70 se les conocía como “energías alternativas” ya que se encontraban en poca producción y desarrollo, también por los estudios que demostraban el agotamiento de los recursos petrolíferos, por ende y como su nombre lo dice son la alternativa para la adquisición de nuevas energías. Más adelante en la historia y gracias a los desarrollos tecnológicos dejaron de ser alternativas y pasan a convertirse en un proyecto viable y productivo para el futuro de la sociedad y el planeta.

Las energías renovables son consideradas en los 17 objetivos de desarrollo sostenible, (ODS, 7 Energía asequible y no contaminante) definidas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU)(Jurado & Gómez, 2021), estos tienen como finalidad o meta mejorar los indicadores de infraestructura, trabajo, cambio climático, pobreza, salud y educación entre otros (Poma, 2010).

En la actualidad, Colombia aún tiene poblaciones que no están conectadas al sistema de transmisión nacional, en especial las poblaciones que se encuentran en las áreas aisladas, donde sus habitantes viven sin el suministro energía eléctrica, ya que no están conectados un sistema eléctrico tradicional (un promedio del 4% de la población colombiana). Es necesario tener en cuenta que la mayoría de estas poblaciones cuentan con unas condiciones geográficas que son obstáculos para la red eléctrica convencional, de igual forma un impedimento es el alto costo de la energía y los bajos ingresos de estas poblaciones, para lo cual se estudian alternativas energéticas por parte de entidades gubernamentales con fin de dar solución a dicha problemática (Franco et al., 2008).

La Dinámica de Sistemas es una metodología de simulación que sirve para analizar y modelar el comportamiento de entornos complejos en el largo plazo, teniendo en cuenta la interacción de todos los elementos que afectan el desempeño del sistema, permitiendo así la toma de decisiones (Aracil & Gordillo, 1997). En esta investigación se realizará un análisis del impacto financiero, social y ambiental que provoca la implementación de energías renovables en zonas de difícil acceso, para ello se utilizará la Dinámica de sistemas debido a que esta herramienta puede validar la viabilidad del proyecto a través de la simulación del comportamiento del sistema al largo plazo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia en la actualidad posee zonas que no cuentan con recursos básicos, entre ellos el servicio de energía eléctrica, debido a que no tienen conexión con el Sistema Interconectado Nacional (en adelante, "SIN"), o un sistema local aislado de la misma. Las zonas no Interconectadas (en adelante, "ZNI") son áreas de difícil acceso y que cuentan con unas características geográficas que impiden el acoplamiento al (SIN), esto quiere decir que no cuentan con servicio eléctrico tradicional, pero para solventar sus necesidades se acogen a otro tipo de solución, como es el uso de plantas generadoras de energía, las cuales en su gran mayoría son alimentadas por combustibles líquidos y en su proceso de generación de energía, expulsan emisiones provenientes de la quema del combustible y que no son amigables con el medio ambiente (Valencia et al., 2021). Cabe resaltar que esta solución no satisface el 100% de sus necesidades debido a que no se puede mantener encendidas las plantas todo el día, ya que los combustibles líquidos tienen un alto valor y aparte de esto hay que agregarle el costo del transporte hasta estas zonas de difícil acceso, haciéndola prácticamente inasequible para mantener las 24 horas del día en funcionamiento las plantas (Acevedo,2017). Como indica el Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas IPSE (2018), citado por Córdoba et al., (2020), en Colombia hay 1.710 localidades rurales a nivel nacional donde se calcula que 128.587 personas acceden al servicio entre cuatro a doce horas al día aproximadamente.

El objeto de estudio son todas las localidades que se encuentran en las áreas rurales del territorio colombiano, que debido a su ubicación geográfica cuentan con unas características específicas que les impiden estar conectados eléctricamente al SIN, como lo son la falta de infraestructura de movilización y transporte agravadas por las situaciones políticas y socioeconómicas de las regiones. Se estima que las ZNI alcanzan un promedio de 600.000 Km², lo que equivale al 52% del territorio nacional, con un total de 929 localidades

pertenecientes a 72 cabeceras municipales con un promedio de 2 millones de habitantes, otro factor que hace difícil la conexión al SIN es la dispersión de los municipios, localidades y viviendas, la densidad es considerablemente baja en estas áreas pues se cuenta con un promedio de (3hab/Km²) (Conpes 3055, 1999).

Hay ciertas poblaciones en Colombia que casi todo el día no cuentan con energía eléctrica, se dice “casi todo el día” ya que por lo regular se tiene una planta generadora de energía que encienden todos los días por un corto lapso de tiempo, con el fin de suministrar el flujo eléctrico en la comunidad, permitiendo satisfacer un mínimo de sus necesidades, teniendo en cuenta que para poder suministrar el flujo eléctrico en este tiempo, las plantas generadoras requieren el consumo de ACPM, es decir para mantener funcionando las plantas se requiere una inversión para la adquisición del combustible fósil. La administración local debe considerar un aumento en la tarifa debido a que el combustible debe de ser transportado desde la cabecera municipal más cercana hasta su localidad (Díaz, 2010). La generación de energía eléctrica por medio de plantas alimentadas por Diesel, son muy costosas para que los usuarios puedan pagar y recibir el servicio en zonas o localidades donde los ingresos son bajos o inclusive nulos.

Debido a la falta del servicio de energía en todas las zonas de difícil acceso a nivel nacional, desencadena una serie de consecuencias en la comunidad como la baja calidad en la educación, un precario sistema de salud, poco o nulo desarrollo tanto social como económico, pocas oportunidades laborales y también la falta de iluminación pública aumenta la inseguridad en las calles.

Es de suma importancia recalcar que la energía eléctrica es el pilar para el desarrollo socioeconómico de una región, pues el crecimiento demográfico, los desarrollos tecnológicos y la industrialización requieren del suministro eléctrico, pero estas a su vez permiten la creación de nuevos empleos, generando desarrollo no solo económico sino también social en la población (Cortes & Londoño, 2017).

Partiendo de esta premisa se plantea como pregunta de investigación:

¿Cuál es el impacto social, económico y ambiental que genera la implementación de energías renovables en zonas de difícil acceso?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de Dinámica de Sistemas que permita evaluar el impacto en términos de sostenibilidad generado por la implementación de energías renovables en zonas de difícil acceso.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Caracterizar las alternativas de energías renovables teniendo en cuenta su viabilidad de implementación en zonas de difícil acceso
2. Establecer las relaciones de las diferentes variables asociadas a la implementación de las alternativas de energías renovables viables a través de la construcción de los diagramas causales.
3. Simular mediante la representación cuantitativa de las relaciones identificadas en los diagramas causales con el uso de los diagramas de Forrester.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO CONCEPTUAL

Zonas de difícil acceso: Se considera Zona de difícil acceso de cualquier entidad territorial de aquella que por sus características geográficas deficiencias de vías y medios de transporte exige un esfuerzo físico o económico fuera de lo ordinario para la permanencia o movilización.

Energías renovables: Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes naturales como la eólica, solar, hídrica, biomasa, geotérmica y mareomotriz, estas se producen de forma continua y son inagotables, además tienen un mínimo o nulo efecto negativo hacia el medio ambiente (Schallenberg et al., 2008).

Energía Solar: Como su nombre lo indica esta aprovecha la radiación que viaja desde el sol hasta la superficie de la tierra, transformándose en energía eléctrica por medio de un proceso fotovoltaico (Mikati et al., 2012).

Energía eólica: Esta fuente de energía renovable aprovecha las corrientes de aire para transformarla en energía eléctrica, ya que estas corrientes de aire hacen rotar las aspas de un aerogenerador que a su vez pone en funcionamiento un dinamo el cual genera la corriente eléctrica (Moraleda, 2013).

Energía Biomasa: La biomasa es la energía que se obtiene del potencial energético de los desechos orgánicos en especial de diversos cultivos, se produce quemando biomasa y puede generar varios tipos de energía como la electricidad, calor, biocombustibles o biodiesel, estas se generan por medio de procesos llamados gasificación, pirolisis y la digestión anaeróbica (Ramos et al., 2021).

Dinámica de sistema: Es una metodología que permite el estudio de sistemas complejos mediante la construcción de un modelo de simulación informática que ponga de manifiesto las relaciones entre la estructura del sistema y su comportamiento, permitiendo así la toma de decisiones (Aracil & Gordillo, 1997).

Zona no interconectada (ZNI): Las zonas no interconectadas (ZNI) son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional (Garzón & Saavedra, 2017).

Sistema interconectado Nacional (SIN): Sistema compuesto por los siguientes elementos interconectados: centrales y equipos de generación, la red de interconexión las redes de transporte regional e interregional, las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios.

Combustibles líquidos: Los combustibles líquidos son sustancias en estado líquido que en presencia de oxígeno generan energía. Pueden ser de origen fósil, como sucede en el caso de los derivados del petróleo, vegetal o animal como ocurre en el caso de los biocombustibles.

4.2 MARCO NORMATIVO

A continuación, se presenta el marco normativo de las energías renovables en Colombia para la promoción y desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER) y en conformidad con la Ley 1715 de 2014 “por medio del cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”, de igual forma se presentan beneficios o incentivos tributarios para los proyectos de (FNCER), como deducción especial para determinar el impuesto sobre la renta, exclusión de bienes y servicios del IVA, exención de gravámenes arancelarios y depreciación acelerada, a las personas naturales o jurídicas que realicen directamente actividades como investigación, desarrollo tecnológico o formulación e investigación (Estudio Legal Hernández Abogados y Asociados, 2022).

A continuación, se presenta en la tabla 1 el marco normativo, donde se señalan los decretos y resoluciones que acobijan el desarrollo de las energías renovables en Colombia.

Tabla 1. Marco normativo

Normatividad	Descripción
Decreto 2492 de 2014	Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda
Decreto 2469 de 2014	Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración
Decreto 2143 de 2015	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.
Resolución 0281 de 2015 UPME	Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala
Resolución 024 de 2015 CREG	Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)
Decreto 1623 de 2015	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas

Resolución Ministerio de Ambiente 1312 de 11 agosto de 2016	Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones
Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016	Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones
Decreto 348 de 2017 “Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015	en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala
Resolución Ministerio de Ambiente 1988 de 2017	PAI 2017 – PROURE (Programas para Exclusión IVA)
Resolución UPME 585 de 2017	(Procedimiento ante UPME Exclusión de IVA)
Resolución Ministerio de Ambiente 2000 de 2017	(Procedimiento ante ANLA para exclusión de IVA)

Decreto 1543 de 2017		Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge
Resolución 167 de 2017	CREG	Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas eólicas
Resolución 201 de 2017	CREG	Por la cual se modifica la Resolución CREG 243 de 2016, que define la metodología para determinar la energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas
Decreto 570 de 2018		Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones
Resolución 015 de 2018	CREG	Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional". Ver capítulo 10 para metodología de cálculo del servicio de respaldo
Resolución 030 de 2018	CREG	Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional

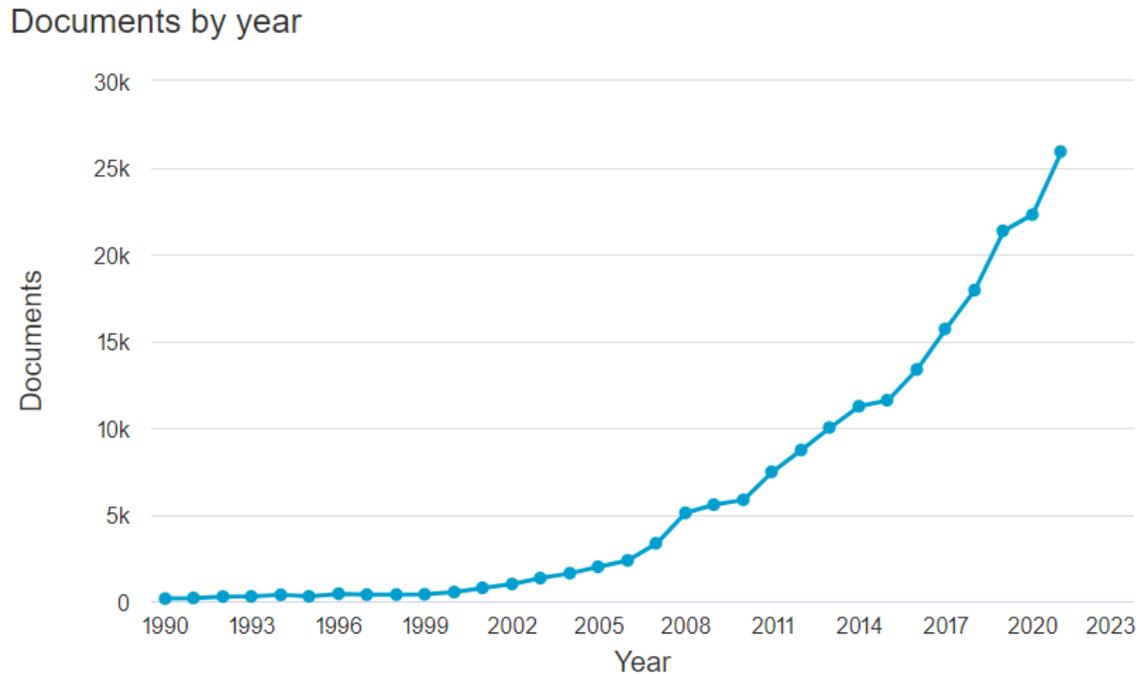
Resolución CREG 038 de 2018	Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas
Ley 1955 del 25 de mayo de 2019	Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022. “Pacto por Colombia, pacto por equidad”. El artículo 174 modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014, relativo a “Incentivos a la generación de energía eléctrica con fuentes no convencionales (FNCE).
Decreto 829 de 2020	Por el cual se reglamentan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto número 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria y se derogan algunos artículos del Decreto número 1073, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía
Resolución UPME 203 de 2020	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para acceder a los beneficios tributarios en inversiones en investigación, desarrollo o producción de energía a partir de Fuentes no Convencionales de Energía -FNCE

(E L H Abogados y Asociados, 2022).

4.3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Las investigaciones relacionadas con el tema de ENERGIAS RENOVABLES en las últimas décadas han experimentado un crecimiento considerable, así como lo muestra la figura N.1 que se obtuvo gracias a una consulta de documentos en la base de datos SCOPUS, utilizando como palabra clave “energías renovables”, esta información conlleva a concluir que las energías renovables son un proyecto con viabilidad tanto para la sociedad, así como para el planeta.

Figura 1. Estudios energías renovable 1990-2021



Fuente: SCOPUS

Para el presente trabajo de investigación se realizó una revisión literaria de diversos artículos y tesis, con el fin de conocer a fondo los diferentes tipos de energías renovables, cuáles de estos tipos de energía son las más utilizadas y la aplicabilidad que tiene según el territorio donde se pretenden implementar.

A continuación, y con base a la revisión de la literatura se presentan algunas investigaciones con la metodología de Dinámica de Sistemas relativas al uso de las fuentes no convencionales de energía renovable.

Se debe tener en cuenta que no es la primera vez que se emplea la herramienta de Dinámica de Sistemas como metodología para evaluar el impacto que tiene la implementación de proyectos de energización con fuentes de energías renovables dirigidos a las áreas rurales o (ZNI). Respecto al uso de Dinámica de Sistemas en temas similares al presentado en este trabajo se tiene, por ejemplo, Robledo &

Ceballos (2008) direccionan la introducción de tecnologías de generación de energía eléctrica hacia áreas rurales o (ZNI) de un país en desarrollo en un proceso de innovación y sostenibilidad, desde la dinámica de sistemas se busca contribuir al avance de estos modelos de simulación de procesos de innovación.

Franco et al., (2008) emplean la Dinámica de Sistemas para la simulación y evaluación de políticas energéticas para abordar el problema de energización rural de las (ZNI) de Colombia, específicamente en las comunidades indígenas del municipio de Jámalo en el departamento del Cauca, usando los medios de vida sostenible para medir el estado de las comunidades aisladas antes y después de la energización, demostrando así que la Dinámica de sistemas es la herramienta adecuada para la evaluación de políticas energéticas. En un contexto internacional y como una ampliación al tema de evaluación de políticas energéticas, el gobierno británico implementa una reforma en su mercado eléctrico, queriendo reemplazar sus plantas nucleares y de carbón siguiendo los lineamientos europeos con el fin de entregar energía confiable proveniente de fuentes de energía renovables, el estudio de este caso apoyado con la dinámica de sistemas que respalda el análisis de estos datos a largo plazo concentrándose en la calidad ambiental, la seguridad del suministro y la sostenibilidad económica (Franco et al., 2015).

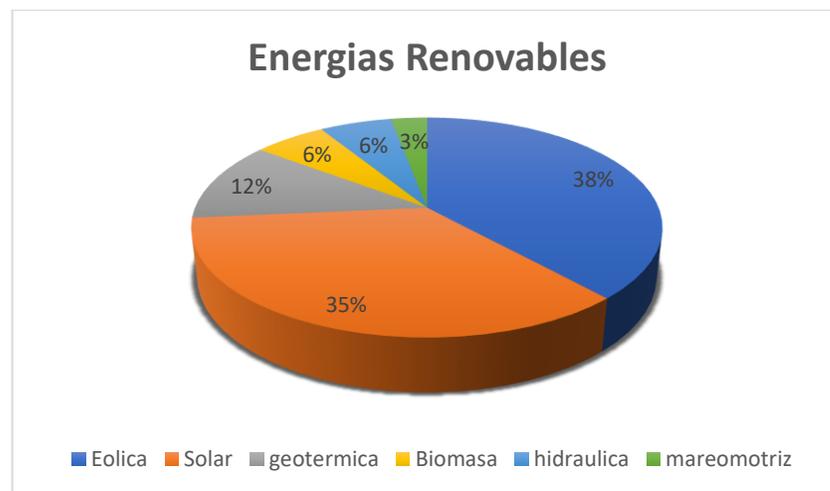
También Ramírez et al., (2017) emplean la Dinámica de sistemas para realización de un modelo de simulación para comparar los efectos en cinco indicadores ambientales, encontrando que indicador es más favorecido en algunos escenarios con la finalidad de generar energía eléctrica a partir de la incineración controlada de residuos (Waste to energy), es una problemática ambiental no solo el aumento de residuos sino también el aumento de la demanda de energía eléctrica siendo estas dos directamente proporcionales.

Por otra parte, Hoyos et al., (2017) a través de un modelo de simulación en Dinámica de sistemas analizan el efecto sobre el precio de la electricidad en Colombia a causa de la integración de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), indica que una participación del 20% de estas en la

demanda de potencia se tendrían beneficios tales como disminución del impacto negativo hacia el medio ambiente, ya que con este porcentaje de integración se alcanzaría a tener una reducción promedio de 62.000 Ton/Año de emisiones de CO₂ de igual forma también se alcanzaría una disminución en el precio de la energía de un 22% a largo plazo.

De igual forma es empleada la Dinámica de Sistemas, desarrollando un modelo de simulación donde se estudia el potencial de la pulpa de café como fuente de biomasa y en consecuencia como fuente de energía, realizan un análisis de sensibilidad a un tiempo de 20 años para identificar las variables que permitan la generación de esta energía (Ramos et al.,2021)

Figura 2. Porcentajes de fuentes de energías renovables utilizadas.



Fuentes: Elaboración Propia.

La figura 2 muestra que la energía eólica es la fuente de energía renovable más utilizada o implementada (equivalente a un 38% de la muestra), seguida muy de cerca por la fuente de energía solar (equivalente a un 35% de la muestra), continua la fuente de energía geotérmica (equivalente a un 12% de la muestra), posteriormente las fuentes de energías de biomasa e hidráulica (equivalente a un

6% de la muestra cada una) y por último la fuente de energía mareomotriz (equivalente a un 3% de la muestra)

Las energías renovables que se tienen en cuenta son la eólica y la solar, con las tecnologías de aerogeneradores y fotovoltaicos, ya que son apropiadas para su implementación en la generación de energía para las zonas de difícil acceso.

La incorporación creciente de fuentes renovables de energía (FRE) en los sistemas energéticos obedece a motivos, tanto de diversificación y seguridad energética, como de combate contra el cambio climático, creación de empleos, mejorar el acceso de energía y desarrollo en el área rural (Juárez & Hernández, 2014). Otro motivo de la incorporación de las renovables en los sistemas energéticos es que estas ayudan al desarrollo económico de los países, pues está claro que así como la población aumenta constantemente, de igual forma aumenta el consumo de energía eléctrica, lo que conlleva a la disminución del rendimiento del fluido eléctrico, ya que las centrales eléctricas generan una cantidad limitada de energía, por esto la disminución del rendimiento del fluido y la calidad energética generan pérdidas financieras para las empresas así como para la de los servicios. Para satisfacer las necesidades del consumidor como para dar apoyo a las centrales eléctricas se están utilizando tecnologías entre ellas las renovables, ya que estas logran proporcionar energía eficiente y de alta calidad.(Ghiasi et al., 2020)

La producción de energías renovables está aumentando significativamente, por ejemplo, estas alcanza el 17% de la producción energética de Estados Unidos, siendo las energías más empleadas la eólica y la solar, la energía eólica se encuentra en 8 países contribuyendo al 10% de la generación eléctrica de cada uno (Wiser & Bolinger, 2019), por otro lado la energía solar se duplicará en los años 2019 al 2022, donde hay un factor muy importante el cual no se había abordado y es que la clave para el crecimiento de la energía eólica y solar a parte de la eficiencia en generación eléctrica y de calidad, es el bajo costo de energía por unidad.(Simpson et al., 2020).

Para concluir, gracias al análisis literario, se puede determinar que las energías solar y eólica son las energías renovables más utilizadas, ya que por sus características naturales (viento y radiación solar) pueden ser implementadas en cualquier parte del mundo, por tal motivo el enfoque del presente trabajo es la evaluación de la implementación de dichas energías en áreas de difícil acceso.

5. CARACTERIZACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

ENERGIAS RENOVABLES.

Como se ha mencionado anteriormente, los combustibles fósiles que son la fuente vital para la energía tradicional están en inminente agotamiento, este tipo de energía ha experimentado un crecimiento exponencial en su demanda debido al crecimiento de la población, el seguir dependiendo de estas energías ponen en riesgo cada vez más a la humanidad y el planeta con las miles de toneladas de CO² emitidas a diario al medio ambiente a causa de la generación de energía por medio de combustibles fósiles, incrementando cada vez más el problema del efecto invernadero y el calentamiento global (Olabi & kareem, 2022). Según la Unidad de Planeación Minero Energético UPME (2015) Indica que “aproximadamente el 81% de la energía consumida a nivel mundial proviene de fuentes fósiles, mientras que el 19% restante proviene de fuentes renovables, en Colombia los porcentajes de consumo de energía están de la siguiente manera, 78% de fuentes fósiles y 22% de fuentes renovables”.

Un estudio realizado respecto al desarrollo sostenible y el impacto de las energías renovables a nivel mundial indican, que la participación de estas sin importar si la prioridad está dirigida hacia la prosperidad económica o la protección del medio ambiente tienen un impacto positivo y muy significativo, demostrando que las energías renovables tienen un fuerte efecto en la sostenibilidad del mundo (Sueyoshi et al., 2022).

En Colombia las fuentes de energía renovable no convencionales (FERNC) se reconocen como cualquier tecnología de energía diferente a las grandes centrales hidroeléctricas las cuales generan el 70% de la electricidad del país, estas tecnologías aprovechan la energía del viento, el sol, la biomasa y pequeñas hidroelectricidades (Sagastume et al., 2020). Colombia posee un gran potencial de

fuentes energías renovables, pero por lo general se ha basado en el uso de la energía hidroeléctrica y los combustibles fósiles como principal fuente de energía, la integración de estas (FER) como estrategia energética lleva al país a obtener un sistema energético sostenible y más seguro (Pupo et al., 2019). Aunque hay que tener presente que el desarrollo de las (FERNC) en Colombia presentan unos obstáculos en el ámbito técnico, social y económico, como son los costos de inversión y operación, falta de coordinación tanto pública como privada y por último la falta de planificación y desarrollo de las (FER), impidiendo su participación al mercado eléctrico colombiano principalmente en las (ZNI) (Edsand, 2017).

La electrificación de las (ZNI) del territorio nacional es uno de los problemas de Colombia, se plantean soluciones a la energización de estas áreas por medio de fuentes renovables de energía no convencionales tales como solar fotovoltaica, eólica con aerogeneradores y tecnología diesel híbrida, este último presenta una ventaja a comparación a la tecnología diesel tradicional y es su menor emisión de CO₂, de igual forma sigue presentando barreras como el costo en su implementación y combustibles fósiles y la dificultad del transporte del combustible a estas zonas rurales, a diferencia de las tecnologías totalmente renovables ya mencionadas son las más viables con respecto al punto de vista ambiental y económico a largo plazo, aunque estas también poseen barreras como que requieren un costo significativo en inversión inicial, también generan costos de operación y mantenimiento que claramente las poblaciones que habitan en áreas de difícil acceso y con bajos recursos no pueden asumir (Mamaghani et al., 2016).

Características y funcionalidad energía Eólica, Solar y Biomasa.

Energía eólica con aerogeneradores

La incorporación de esta energía en escala mundial es notable, la industria eólica mundial enfoca su atención hacia países en desarrollo con locaciones idóneas para la instalación de centrales eólicas. Hay dos variables que se deben de tener

en cuenta para hallar estas locaciones idóneas como son el terreno y fuente natural, para la primera variable se debe de regir a una serie de factores que permitan determinar la viabilidad del área seleccionada como son: pendiente, área, distancia a subestación eléctrica, a núcleos de población, a redes eléctricas, entre otros. la segunda es la fuente natural que hace referencia al factor de velocidad del viento, por ende esta variable prima sobre de la otra, ya que la velocidad mínima para el funcionamiento de los aerogeneradores suele ser entre (3-4m/s), aunque para poder plantear un proyecto eólico la velocidad del viento media anual es de (5m/s) esto quiere decir que si después del estudio para determinar la velocidad del viento en dicha área alcanza las mediciones correctas se puede proceder a estudiar la primer variable. (Moraleda, 2013)

Tanto para este modelo, así como para el solar, es importante considerar las perturbaciones debidas a los factores ambientales como nubes, turbulencias y efectos térmicos locales, entre otros, debido a esto los programas para la generación de los recursos eólico y solar tienen elementos tanto deterministas como aleatorios.

Energía solar fotovoltaica.

Según Mikati et al.,(2012) los patrones generales del recurso solar se deben establecer mediante relaciones astronómicas y geotérmicas. La radiación solar que llega a la tierra tiene dos contribuciones, la directa, que es la radiación que viaja desde el sol a la superficie de la tierra en línea recta y la difusa, esta no tiene dirección determinada y normalmente tiene menor calidad para la conservación de energía solar para el modelo fotovoltaico, esto hace referencia a la latitud del sitio o área seleccionada y la dirección del colector, esto quiere decir que para una óptima generación anual de energía fotovoltaica, las placas deben ser instaladas mirando hacia el sur, ósea una azimut de 180° y con una inclinación entre 30° a 45° , por otra parte las sombras el peor enemigo de la energía fotovoltaica ya que

esta disminuye la producción, por esto es importante instalar los paneles en un lugar despejado donde no reciba sombra en todo el horario diurno, otro punto y es que en las regiones tropicales hay un mejor aprovechamiento de esta fuente natural, de igual forma es obstáculo los días nublado o temporadas de invierno.

Energía Biomasa.

La Biomasa es una de las fuentes de energía renovable que se caracteriza por su mínimo impacto ambiental, basada en la utilización de materia orgánica de origen vegetal como residuos forestales y agrícolas, como también de origen animal, estiércol, afluentes ganaderos y residuos de industrias agroalimentarias entre otras, convirtiendo la energía química de las masas en energía calorífica, eléctrica o mecánica (Cabello, 2006). La biomasa tiene la versatilidad de ser empleada en cada una de las áreas de aplicabilidad de los combustibles fósiles, gracias a una serie de procesos se puede transformar en combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, cubriendo las necesidades energéticas de transporte, industria y electricidad (Fernández, 2003).

La biodigestión es el procedimiento que se genera por medio de un biodigestor anaerobio, donde la materia orgánica que ingresa sufre una transformación gracias a cuatro etapas conocidas como hidrolisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, que junto con la ayuda de una serie de bacterias se tiene como resultado final biogás (metano), lo que indica que para el correcto funcionamiento del biodigestor se requiere un constante ingreso de residuos orgánicos al proceso (Tobón et al., 2020).

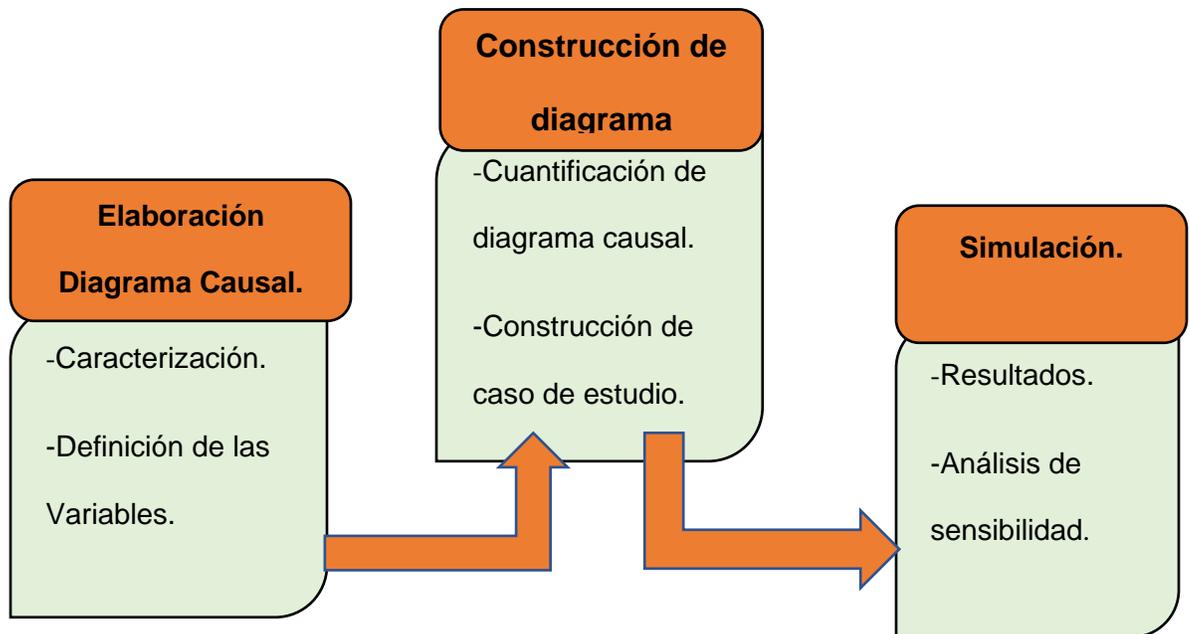
6. METODOLOGÍA

La Dinámica de Sistemas es una herramienta que ha permitido en muchos estudios de diversos campos poder predecir el comportamiento de diferentes sistemas a futuro, por medio de la construcción de escenarios complejos con distintos tipos de variables, arrojando posteriormente una serie de resultados provenientes de la simulación, permitiendo así la toma de decisiones (Ortiz & Paredes, 2021).

La necesidad de analizar el impacto ambiental, social y económico en la implementación de energías renovables en zonas de difícil acceso, es con el fin de encontrar una solución sostenible a largo plazo en el ámbito energético a las (ZNI) del territorio nacional, permitiendo así determinar los tipos de energías renovables que tienen mayor viabilidad para el desarrollo de esta, ya que la población que habitan en estas áreas toman medidas poco convencionales para satisfacer una mínima parte de sus necesidades y que por lo general no son amigables con el medio ambiente.

En demostración sobre la aplicación de la Dinámica de sistemas se sigue la metodología mostrada en la figura 3, donde se inicia con la construcción del diagrama causal relacionando las variables que intervienen en la implementación de energías renovables. En consecuencia, se elaboró un diagrama de Forrester, donde se pretende cuantificar las relaciones expresadas en el diagrama causal

Figura 3. Metodología de implementación de dinámica de sistemas en la evaluación del impacto de las energías renovables



Fuente: (Ortiz & Paredes, 2021).

Fase 1. Elaboración de diagrama causal.

Se inicia con una caracterización de las energías renovables para identificar sus ventajas y desventajas y con base a eso definir la viabilidad de implementación en las áreas rurales de Colombia, una vez se tiene identificado los elementos más relevantes de esas energías renovables se procede a elaborar el diagrama causal. Los diagramas causales son fundamentales para el modelado de dinámica de sistemas, es un gráfico donde se muestra la interacción de las variables del sistema unidas por unas flechas denotando relaciones de causa-efecto que pueden ser positivas o negativas. En una relación positiva, un aumento o disminución de la variable causal aumenta o disminuye el efecto, por el contrario, una relación negativa implica que un aumento o una disminución de la variable causa produce una disminución o aumento del efecto (Ramos et al., 2021).

Fase 2. Construcción de diagrama de Forrester.

Finalizada la elaboración de los diagramas causales se continua con la construcción de los diagramas de forrester para la respectiva simulación.

Los diagramas de Forrester proporcionan una representación gráfica de los sistemas dinámicos, modelando cualitativamente las relaciones entre las partes, mediante símbolos que corresponden a una interpretación dinámica del sistema. A través de este se puede observar el comportamiento y la evolución de las distintas variables, para así poder realizar el análisis del impacto financiero que tiene la implementación de la herramienta a futuro (Ortiz & Paredes, 2021, p.148).

Fase 3. Simulación.

Se realizará una simulación de un caso de estudio para identificar el impacto que tiene la implementación de las energías renovables en las zonas de difícil acceso. Se procede a realizar ensayos por medio de la simulación una vez construido el modelo, es de suma importancia la fase del análisis de sensibilidad del modelo, en la variación de valores que puedan presentar los parámetros, cuando el análisis es satisfactorio se procede a estudiar el comportamiento del modelo que permitan concluir y sirva de soporte para la toma de decisiones (Aracil & Gordillo,1997).

7. ELABORACION DE DIAGRAMA CAUSAL

Para abordar el diseño del diagrama causal se considera la revisión de la literatura y la caracterización antes descrita donde se lograron identificar las variables más relevantes. En la tabla 2 que se presenta a continuación se resumen cuáles fueron las variables comúnmente encontradas en los apartados descritos inicialmente y que se incluyeron en el planteamiento del problema. Como estrategia se presentan los diagramas causales divididos en el ámbito social, económico, ambiental, energía biomasa, energía solar y energía eólica.

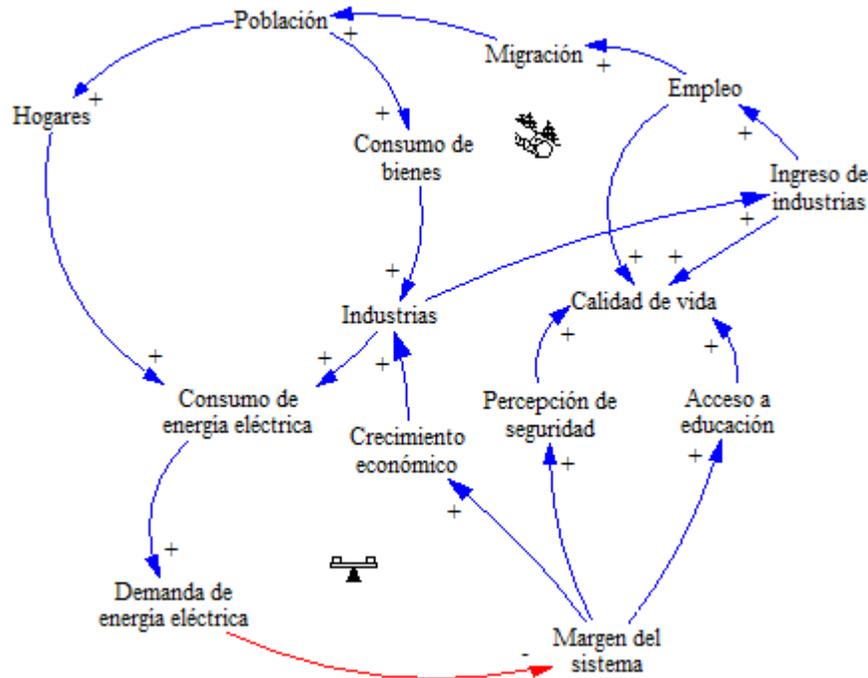
Tabla 2. Variables identificadas del diagrama causal

Nombre del artículo	Autores	Variables
Assessing emissions mitigation energy policy under integrated.	(Cárdenas et al., 2016).	Impacto ambiental, margen del sistema, inversión en energías renovables.
Evaluating the effect of technology transformation on the electricity utility.	(Castañeda et al., 2017).	Generación de la biomasa, instalación aerogeneradores, instalación de paneles, población, hogares, consumo de energías eléctrica, demanda de energía eléctrica, crecimiento económico, industria
Diffusion of renewable energy technologies the need for policy	(Jiménez et al., 2016).	Impacto ambiental, hogares potenciales a instalar paneles solares, hogares con paneles solares instalados, experiencia en instalación de paneles, costo de instalación paneles solares, consumo de baterías

Simulating the new British Electricity-Market Reform	Franco et al., (2015).	Consumo de energías eléctrica, demanda de energía eléctrica, emisiones de CO2
Incentives for renewable energy in reformed Latin-American.	(Zuluaga & Dyner, 2005)	Acceso a la educación, oferta de energía eléctrica
Estudio de viabilidad de un parque eólico	(Moraleda, 2013)	Flujo de viento, Instalación de aerogeneradores

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Diagrama causal: En esta sección del diagrama causal se puede observar la relación que existe entre las variables sociales.

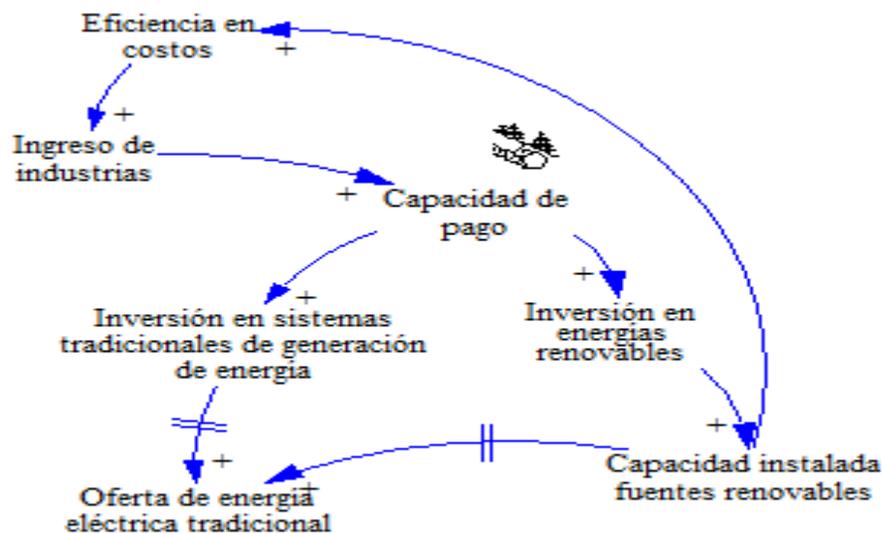


Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 indica que el margen del sistema tiene dos contribuciones que son negativa y positiva (la primera se da cuando la demanda supera la generación de energía y positiva cuando la demanda es inferior a la generación), por lo tanto, a mayor margen del sistema mayor será el acceso a la educación y la percepción de la seguridad, generando en la sociedad una mayor calidad de vida. Por otro lado, a más margen del sistema mayor será el crecimiento económico que impulsará el desarrollo o la inversión en las industrias teniendo como resultado un mayor ingreso de industria que a su vez genera más empleo, a medida que mayor sean estas dos últimas variables mayor será la calidad de vida. Al generarse empleo en una región esto causa que sea más atractivo para personas de otras partes causando migración a estos lugares incrementando la población y hogares, al

haber más hogares habrá un mayor consumo energético en la región incrementando la demanda de energía eléctrica y mayor sea la demanda de energía eléctrica disminuirá el margen del sistema. En otro orden de ideas a mayor población habrá mayor consumo de bienes abriendo la oportunidad a más industria las cuales requerirán del servicio energético para la elaboración de sus productos incrementando también la demanda de energía eléctrica.

Figura 5. Diagrama causal: En esta parte del diagrama se muestra la relación entre las variables económicas.

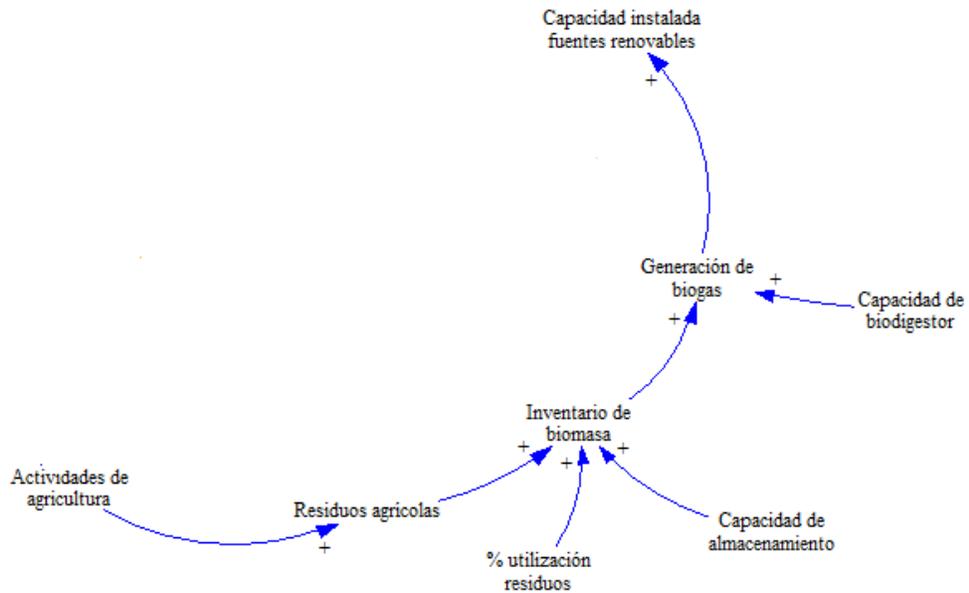


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se observa que entre más sean los ingresos de industrias en una región, habrá mayor capacidad de pago los cuales pueden ser invertidos en un sistema de generación de energía tradicional aumentando la capacidad de generar energía para la zona, ósea que aumenta la oferta de energía eléctrica tradicional, de igual forma al haber más capacidad de pago en el área, se amplía la posibilidad de invertir en energías renovables ampliando la capacidad instalada de fuentes renovables implementando proyectos que al tiempo aumentará la oferta de energía eléctrica, también a mayor capacidad instalada de fuentes renovables

energía con el fin de almacenar la energía generada no utilizada en el momento, por ende, entre más baterías se utilicen mayor es el impacto ambiental.

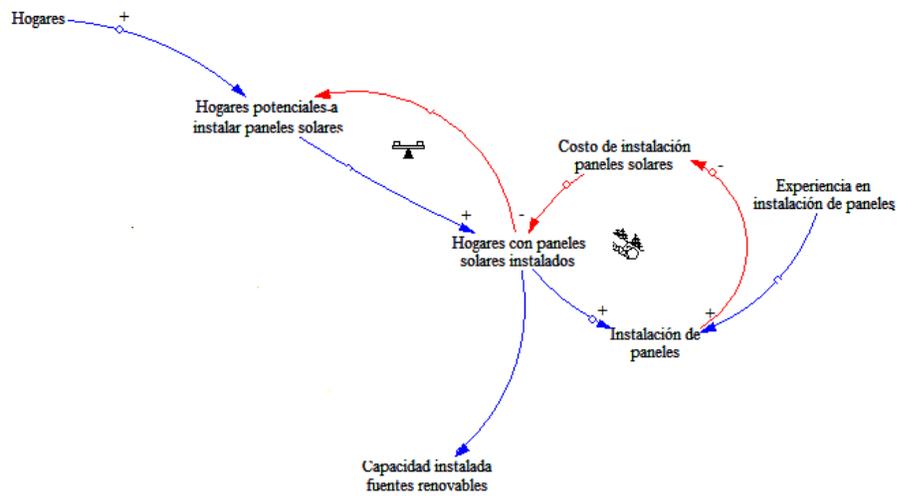
Figura 7. Diagrama causal: Interacción de las variables en el proceso de generación de energía Biomasa.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se presenta como las actividades de agricultura de la región generan residuos agrícolas, donde a mayor residuos agrícolas mayor es el inventario de biomasa, también inciden en esta última variable positivamente el porcentaje de utilización de residuos y capacidad de almacenamiento, donde al contar con un gran inventario de biomasa (residuos agrícolas) mayor es la generación de biogás, esta generación depende directamente de la capacidad del biodigestor, es decir a mayor capacidad del digestor (tamaño) mayor es la generación de biogás, aumentando la capacidad instalada de fuentes renovables.

Figura 8. Diagrama causal: Interacción de las variables en la generación de energía Solar fotovoltaica.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se muestra que, a más hogares mayor son los hogares potenciales a instalar paneles solares debido a la necesidad del servicio eléctrico, incrementando la instalación de paneles solares en los hogares, pero entre más hogares con paneles solares instalados disminuye la necesidad de instalación de estos, también entre más hogares con paneles solares instalados mayor es la capacidad instalada de fuentes renovables, a más experiencia en instalación de paneles mayor es la instalación de paneles en la región y esta disminuye el costo de instalación.

Figura 9. Diagrama Causal: Interacción de variables en el proceso de generación de energía Eólica.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se muestra las variables que inciden en la generación de energía eólica, donde a mayor flujo de corrientes de aire hace más viable la instalación de aerogeneradores aumentando la capacidad instalada de fuentes renovables en la zona, a más experiencia en instalación de aerogeneradores mayor es la instalación de aerogeneradores disminuyendo el costo de instalación de aerogeneradores. Por último en la figura 11 se presenta el diagrama causal completo

7.1 CASO DE ESTUDIO

El lugar objeto de estudio tiene como nombre vereda Las Frías y hace parte del corregimiento de la Habana, se encuentra ubicada en la zona rural media del municipio de Guadalajara de Buga, al margen oriental del mismo, la distancia desde el casco urbano de Buga es de aproximadamente 19 km. Para llegar a la vereda se toma la vía que conduce a Alaska; la vía es pavimentada hasta Tres esquinas, Las Frías fue fundada en el año 1950 por 11 familias originarias de caldas, Santander del sur, Antioquia y Valle del Cauca, es bautizada con el nombre las frías debido a que así se llama la quebrada que la atraviesa de nororiente a occidente.

La vereda tiene como límites hacia el norte con la vereda el Diamante, al nororiente con la vereda el Diluvio, al occidente con la vereda Alaska y la Habana y al sur con la vereda la Piscina. La vereda se encuentra ubicada entre los 1.430 y 2000 metros sobre el nivel del mar. Su temperatura varía desde los 18°C a 24°C; la precipitación es de 1.900 mm/año. La topografía predominante de la vereda se caracteriza por ser quebrada, con una pendiente superior al 35%, por lo cual en la vereda se encuentran pocas áreas planas o tendidas. El sistema hidrográfico está conformado principalmente por la quebrada las Frías, quebrada La U, quebrada la Escuela y aproximadamente 20 nacimientos.

La vereda cuenta con 24 predios aproximadamente cuya extensión va entre 1 y 40 hectáreas, sin embargo, la mayoría de estos predios se encuentran deshabitados. En diez de los predios restantes predomina la agricultura con cultivos de tomate de árbol, mora, lulo, café, algunos cítricos, banano, plátano, yuca, arracacha y cultivos de pancoger y en menor medida la ganadería como lo muestra la tabla 3.

Tabla 3. Predios aprovechados.

RANGO	N. PEDIOS	PRINCIPALES USOS	COMENTARIOS
Menor a una hectárea	1	-	-
Entre 1 y 5 hectáreas	2	Café, plátano, banano, yuca, pasto.	Tiene sembrado diferente tipo de pasto en el potrero.
Entre 5 y 20 hectáreas	10	Banano, pasto, plátano, café, peces.	-
Entre 20 y 50 hectáreas	7	Banano, plátano, cacao, frijol, pasto, guadua, yuca, guadua, arracacha, mora, granadilla, lulo.	-
Mayor a 50 hectáreas	7	Árboles, bosque primario y bosque secundario, rastrojo.	Aguas de Buga cuenta con 3 predios.
TOTAL	27		

Fuente: (IMCA, 2020)

En la vereda hay un total de 24 viviendas, de las cuales 17 se encuentran habitadas, 9 de estas viviendas son propiedad de quienes las habitan, 7 viviendas son habitadas en condición de agregadas y 1 vivienda arrendada. En cuestión de servicios públicos, la vereda no cuenta con acueducto; cada familia o predio adecua su conexión o sistema de distribución de agua para consumo familiar y uso en la agricultura, el agua es tomada de las diferentes quebradas y nacimientos

de acuerdo con la facilidad y cercanía a las viviendas; con respecto al servicio de energía eléctrica, pocos predios se benefician, trece familias no cuentan con el servicio de electricidad, solo hay dos casas con energía en el tramo de la carretera al Palo Santo. La vía de acceso a la vereda se encuentra en regular estado y tampoco cuentan con pozos sépticos para el manejo de aguas servidas. La vereda está conformada por 18 familias con una población aproximada de 25 personas. Hasta hace unos años eran 42 las personas que habitaban la vereda.

En la vereda aún existe la infraestructura de la escuela, pero dada la situación de desplazamiento que tuvo la comunidad por la violencia que se vivió a finales de los 90, se encuentra en desuso aproximadamente 15 años, pues la vereda empezó a quedarse sola y apenas recientemente se ha ido generando un proceso de retorno y repoblamiento que de todas formas no amerita la habilitación de la escuela por la baja población de niños y jóvenes en edad escolar. Por lo tanto, los pocos que hay se desplazan a estudiar a la I.E. Agropecuaria de Alaska, de igual forma no cuenta con centro de salud (IMCA, 2020).

7.2 CARACTERIZACION DEL CASO DE ESTUDIO

VARIABLES DEL CASO DE ESTUDIO

A continuación, se procede a definir las variables identificadas para la elaboración del diagrama de Forrester, estas se clasifican en tres tipos como son: variables de nivel, variable de flujo y variables auxiliares.

Variables de nivel: Estas variables a través del tiempo de la simulación, acumula cierta magnitud, estas son variables que indican el estado del sistema.

Variable de flujo: estas son las encargadas de la variación que se presenta en las variables de nivel en la simulación, es decir, las variables de flujo se encargan de alimentar o disminuir el nivel.

Variable auxiliar: Como su nombre lo indica, estas variables sirven para ayudar en la definición de las variables de flujo, aportando información que permite comprender más fácilmente el modelo.

En seguida, se presentan las variables que hacen parte del sistema a simular junto con su definición para mejor entendimiento, agrupadas o clasificadas por tipo de variable.

VARIABLES DE NIVEL:

- **Margen del sistema eléctrico:** Es la generación y consumo de energía eléctrica en las áreas rurales.
- **Población de las zonas no interconectadas:** Es la población que habita en la zona rural, vereda Las Frías, además que no cuentan con electricidad porque no hacen parte del sistema interconectado nacional o no cuentan con un sistema aislado que le permita el acceso al suministro eléctrico.
- **Población de las zonas interconectadas:** Población que habita en zonas donde cuentan con el suministro eléctrico y hacen parte del sistema interconectado nacional.
- **Industria en las zonas no interconectadas:** Se toma con el nombre de industria a fincas o haciendas de la zona rural, además que no cuentan con el suministro eléctrico y para poder suplir sus necesidades en sus procesos productivos, recurren a otros medios como es el uso de plantas generadoras de electricidad a base de combustibles fósiles.
- **Industria de las zonas interconectadas:** fincas o haciendas que están ubicadas en zonas que cuentan con suministro eléctrico, es decir que hacen parte del sistema interconectado nacional.
- **Número de personas laborando:** Cantidad de personas empleadas en las actividades económicas de las industrias.

Variables de flujo:

- **Creación de industria:** Cantidad de industrias que inician su actividad económica.
- **Migración de industria:** Industrias que salen de las zonas no interconectadas hacia las zonas interconectadas.
- **Contratación de nuevos empleados:** Cantidad de personas que se requieren emplear para los procesos en la industria.
- **Despido de empleados:** Personas despedidas de su trabajo por varios motivos, entre ellos la migración de la industria.
- **Oferta de energía eléctrica:** Cantidad de energía eléctrica generada empleada para satisfacer la necesidad de la población y la industria.
- **Demanda de energía eléctrica:** Cantidad de energía que requiere la población y la industria para cubrir su necesidad.
- **Personas migrantes:** Personas que por algún motivo llegan a la zona rural no interconectada.
- **Personas emigrantes:** Personas que salen de su vereda y en busca de desarrollo se dirigen a las zonas interconectadas.

Variables auxiliares:

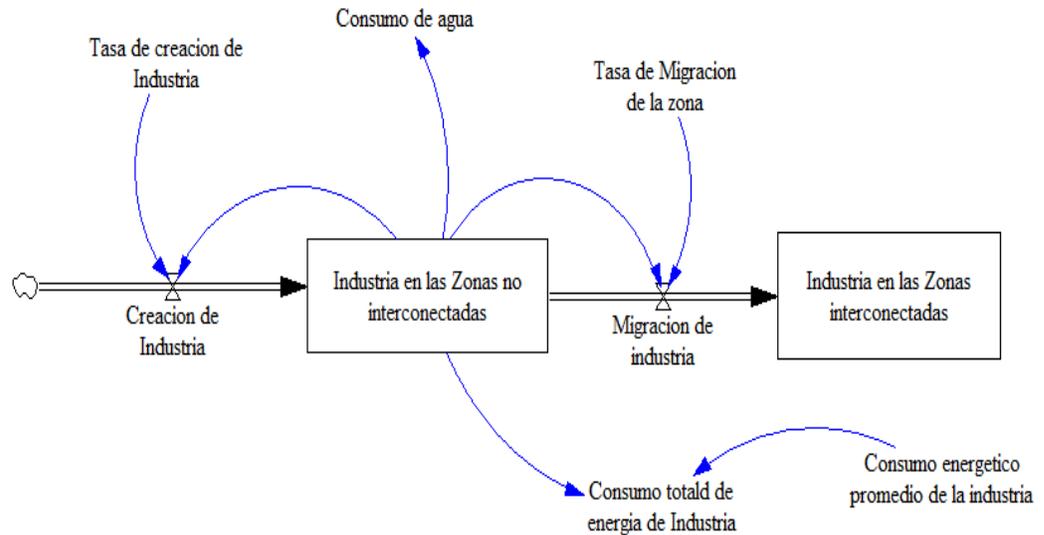
- **Consumo de agua:** Cantidad de agua empleada en los procesos productivos de las industrias.
- **Huella de carbono:** en este caso huella hídrica, es el volumen de agua necesaria empleada en un proceso productivo de una forma directa e indirectamente.
- **Tasa de creación para la industria:** Porcentaje de industrias creadas anualmente.
- **Tasa de migración de la zona:** Porcentaje de personas e industrias que migran a las zonas interconectadas.
- **Consumo de energía total de industria:** Cantidad de energía total que requieren todas las industrias para sus procesos productivos.

- **Consumo energético promedio de la industria:** Consumo promedio por industria para sus procesos.
- **Tasa de contratación:** Porcentaje que identifica cuantas personas son contratadas por la industria.
- **Tasa de migración:** porcentaje de personas migrantes a las zonas no interconectadas.
- **Tasa de emigración:** Porcentaje de personas que emigran a las zonas interconectadas.
- **Consumo de energía total de hogares:** Cantidad de energía que consume todos los hogares de la zona o vereda.
- **Consumo energético promedio del hogar:** Cantidad de energía consumida por cada hogar en la zona o vereda.
- **Número de hogares:** cantidad de hogares en la zona o vereda.
- **Relación de número de personas por hogar:** Cantidad de personas promedio que conforman un hogar.
- **Índice de desarrollo humano:** Indicador de calidad de vida de las personas en una región.
- **Capacidad instalada de energía eléctrica:** Cantidad de energía generada por medio de fuentes de generación como plantas eléctricas por combustión interna.
- **Costo de generación de energía por combustible:** Esto comprende desde el punto de la compra de la planta generadora de energía, el costo del combustible para su funcionamiento y mantenimientos preventivos o correctivos.
- **Energía eólica generada:** Cantidad de energía generada por medio de la fuente natural (corrientes de aire), con la tecnología de aerogeneradores.
- **Numero de aerogeneradores:** Cantidad de aerogeneradores que se necesitan para generar la electricidad requerida o demandada por la población e industria.

- **Costo de instalación de aerogeneradores:** costo monetario desde la compra y adquisición del aerogenerador, instalación, puesta en marcha y mantenimientos.
- **Energía solar generada:** Cantidad de electricidad producida por medio de la fuente natural (radiación solar), con la tecnología fotovoltaica (paneles solares).
- **Numero de paneles solares:** Cantidad de paneles solares que se necesitan para producir la electricidad que demanda la población, se requiere en promedio dos paneles por hogar.
- **Costo de instalación de paneles solares:** Costo monetario desde la compra de los paneles, instalación y mantenimientos.
- **Porcentaje de instalación de paneles:** porcentaje de paneles requeridos para generar "X" cantidad de energía.
- **Energía biomasa generada:** Cantidad de energía generada por medio de la fuente renovable biomasa, con el aprovechamiento de residuos orgánicos por medio de la tecnología de biodigestores.
- **Costo de generación de electricidad por biomasa:** Costo monetario desde la adquisición de los equipos, instalación y mantenimiento.
- **Cantidad de residuos agrícolas:** Cantidad de residuos agrícolas generados a causa de los procesos productivos de las industrias y la población.

7.4 CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DE FORRESTER

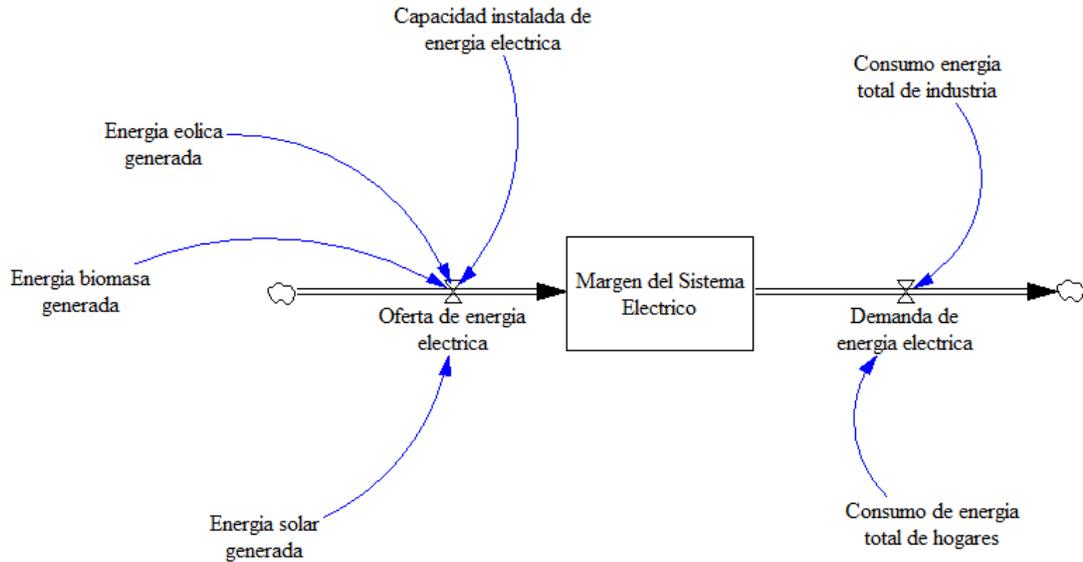
Figura 11. Diagrama de Forrester: En esta sección del diagrama de forrester se relacionan las variables de industria en las zonas interconectadas y no interconectadas.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se puede observar la relación que hay en entre las industrias en las Zonas no interconectadas y migración de estas a las zonas interconectadas, cuando se habla de industria en las zonas no interconectadas se hace referencia a fincas o haciendas que se encuentran en el área rural y que no están conectadas al sistema eléctrico tradicional, estas tienen como actividad económica la ganadería, avicultura, porcicultura o agricultura entre otras y generan de una u otra forma empleo a las personas de la región y son consideradas pequeñas empresas, la migración de estas se debe que al no tener el flujo eléctrico no pueden contar con el desarrollo tecnológico que hay en la actualidad y que permitiría la optimización de sus procesos y un mayor desarrollo económico.

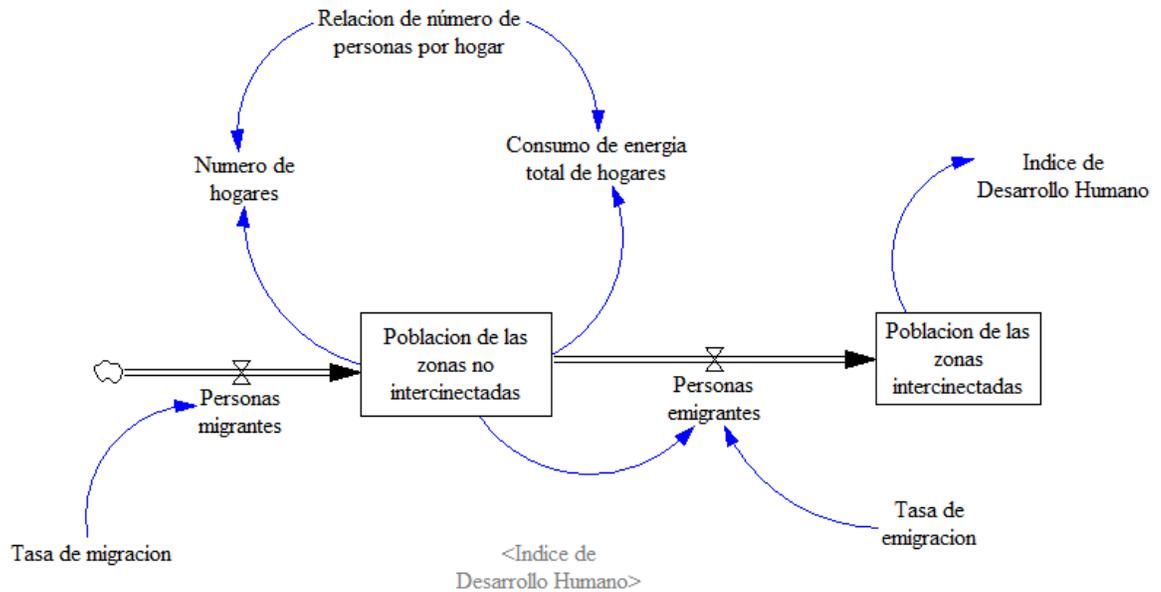
Figura 12. Diagrama de Forrester: En esta fase del diagrama se presenta el Margen del sistema eléctrico y la interacción entre las variables de oferta y demanda eléctrica.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se puede observar que el margen del sistema eléctrico tiene dos percepciones, positiva y negativa, la primera, se presenta cuando en el sistema la oferta de energía eléctrica es mayor a la demanda y suple las necesidades de la región, la negativa cuando sucede todo lo contrario explicado anteriormente. Esta oferta es alimentada por la generación de energía de diferentes fuentes como la eólica, solar y biomasa, mientras estas sean constantes en su proceso de generación de energía permitirá que la oferta se conserve, de igual forma la demanda crece debido al consumo total de energía de los hogares y de las industrias, esto permite evidenciar que tanto la oferta como la demanda crean una estabilidad en el margen del sistema eléctrico, quiere decir que la capacidad instalada de energía debe aumentar si hay un incremento en la población o en la creación de nuevas industrias, pues la calidad del flujo no será constante y tiende a disminuir.

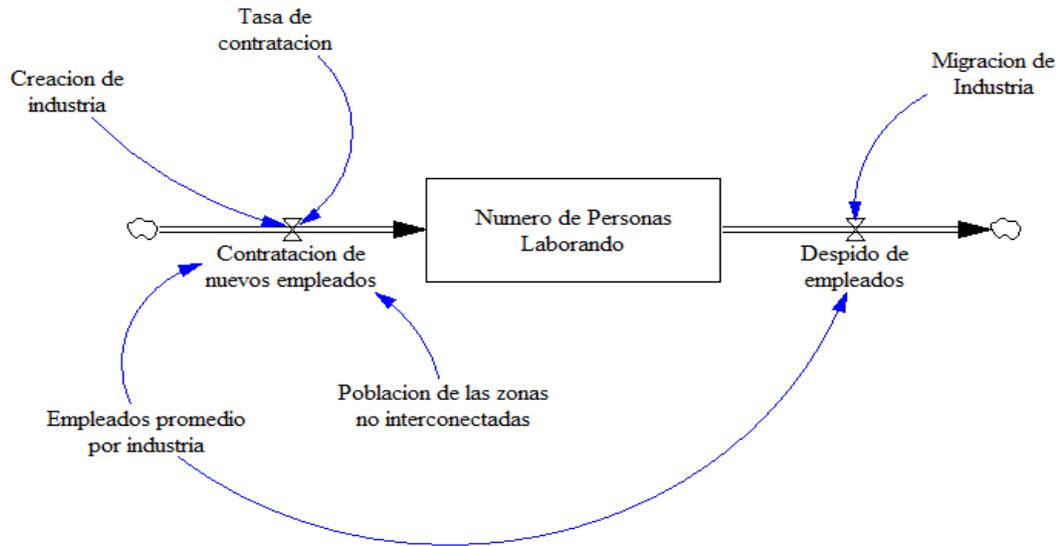
Figura 13. Diagrama de Forrester: Relación entre las variables Población de las zonas interconectadas y no interconectadas.



Fuente: Elaboración propia.

En La Figura 13, se inicia por la población de las zonas no interconectadas, a esta variable se le da este nombre ya que hace referencia a la población que habita en el área rural y que no hacen parte del sistema interconectado nacional, es decir no cuentan con servicio eléctrico, esto desencadena en la población una serie de consecuencias que hacen disminuir su índice de desarrollo humano, haciendo que se genere una emigración de la población hacia las zonas interconectadas en busca de mejorar su calidad de vida y oportunidades, es decir, en estas zonas cuentan con un nivel más alto en su índice de desarrollo humano. Ahora bien, en el otro escenario donde en las zonas no interconectadas se implementen el uso de energías renovables, se generaría la capacidad de suplir la necesidad de los habitantes, habría la oferta necesaria para atender la demanda de la región, esto permite que en la población haya un desarrollo y elevara su índice de desarrollo humano, ocasionando que se genere un retorno de las personas que se habían marchado de este lugar, se presenta una migración hacia las zonas no interconectadas aumentando su población.

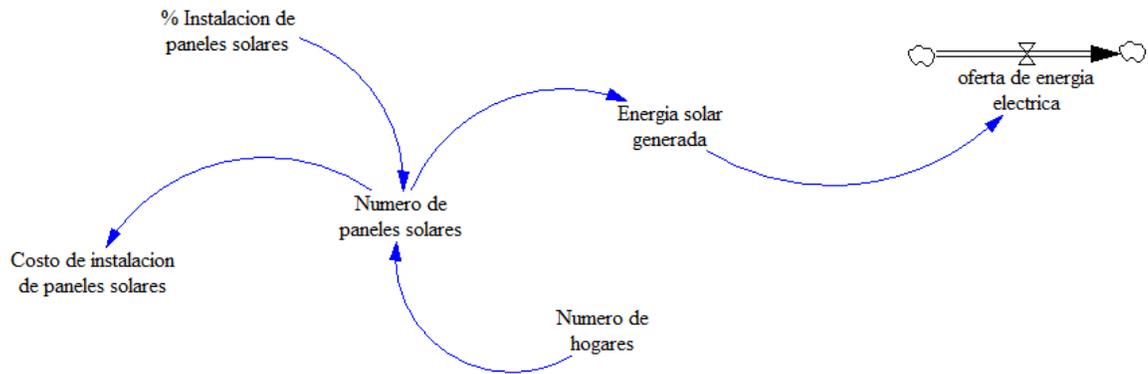
Figura 14. Diagrama de Forrester: Se relacionan las variables de numero de personas laborando, contratación de nuevos empleados y despido de empleados.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se determinan los principales factores que influyen directamente en la contratación de nuevos empleados, este, está sujeto a una tasa de contratación como también a la creación de industria en la región, como se había indicado anteriormente estas industrias hacen referencia a la actividad económica de fincas o haciendas, es decir ganadería y agricultura entre otras más; la creación de nuevas industrias permitirá que la contratación de nuevos empleados aumente, puesto que se requerirá más mano de obra, siendo esta suplida por la población que emigra de las zonas no interconectadas en busca de oportunidades y mejor calidad de vida. Todo lo anterior mantendrá en un nivel alto el número de personas laborando, pero esto se vería afectado directamente por la cantidad de despidos de empleados que este sujeto a una tasa de despido y también por la migración de industria de la región.

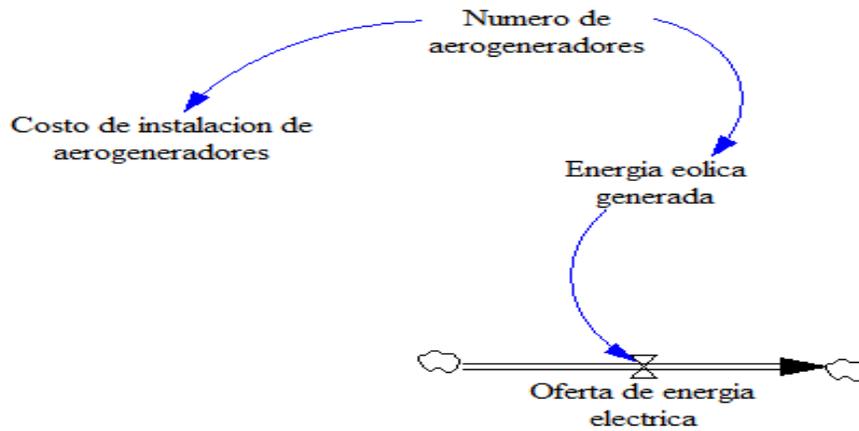
Figura 15. Diagrama de Forrester: En esta fase del diagrama se muestra la interacción de las variables en la generación de energía solar.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15 se muestra la interacción de las variables en la generación de energía solar por medio de la tecnología fotovoltaica, se determina que según el número de hogares así mismo es la cantidad de paneles que se requiere, indicando que si aumentan los hogares se necesitan más paneles para generar la energía que se demanda, la instalación de estos, está sujeta a un porcentaje y costo de instalación, la cantidad de paneles solares instalados y con la radiación del sol permiten generar energía que alimentara la oferta de electricidad de la región.

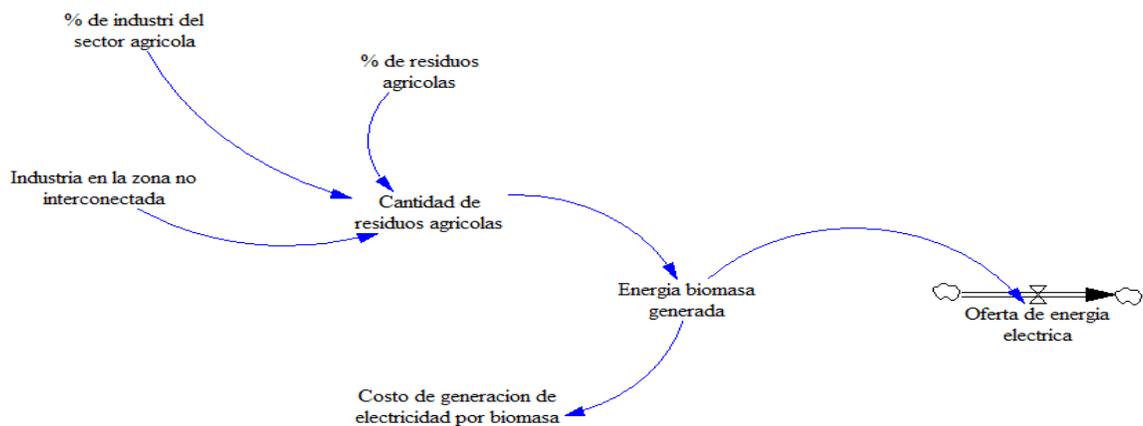
Figura 16. Diagrama de Forrester: Se presentan la relación entre las variables en la generación de energía eólica.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16 se determinan las variables relacionadas con la generación de energía eléctrica por medio de aerogeneradores, el número de aerogeneradores está sujeto a un costo de instalación, donde la cantidad de estos depende de la necesidad eléctrica a cubrir en la región, la generación de energía eléctrica por medio de esta fuente renovable alimentara la oferta de energía.

Figura 17. Diagrama de Forrester: Se presentan la relación entre las variables en la generación de energía biomasa.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17, Como se había explicado anteriormente, la industria en las zonas no interconectadas hace referencia a fincas o haciendas, donde su actividad económica depende de la ganadería o agricultura entre otras más actividades, estas industrias, como resultado de sus procesos productivos generan una cierta cantidad de residuos orgánicos que son aprovechados para la generación de energía biomasa que posteriormente alimentará e incrementará la oferta de energía eléctrica para la población.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Variables sociales

Personas migrantes:

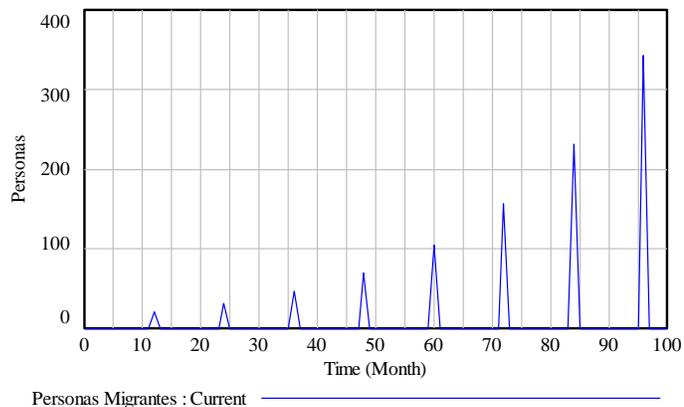
La entrada de personas migrantes a la población de la zona no interconectada comprende un flujo positivo para cada 12 meses, alcanzando un valor máximo de 343 personas migrantes en el periodo 96 y un mínimo de 21 personas en el periodo 12 (Ver gráfico 1). Infiriendo entonces que con el pasar del tiempo migraran más personas a la población de la zona no interconectada indicando que para 100 meses el número de personas migrantes será de 1005. Analizando entonces cada brecha de los periodos se infiere que el aumento porcentual se establece en 6% y 67% para el penúltimo periodo (ver tabla 4).

Tabla 4. Personas migrantes a la población de la zona no interconectada.

Time (Month)	12	24	36	48	60	72	84	96
" Personas Migrantes"								
	21	32	47	70	105	156	231	343
BRECHA	11	15	23	35	51	75	112	
AUMENTO %	6%	9%	14%	20%	31%	45%	67%	100%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1. Resultado de personas migrantes



Fuente: Elaboración propia.

Población de la zona no interconectada:

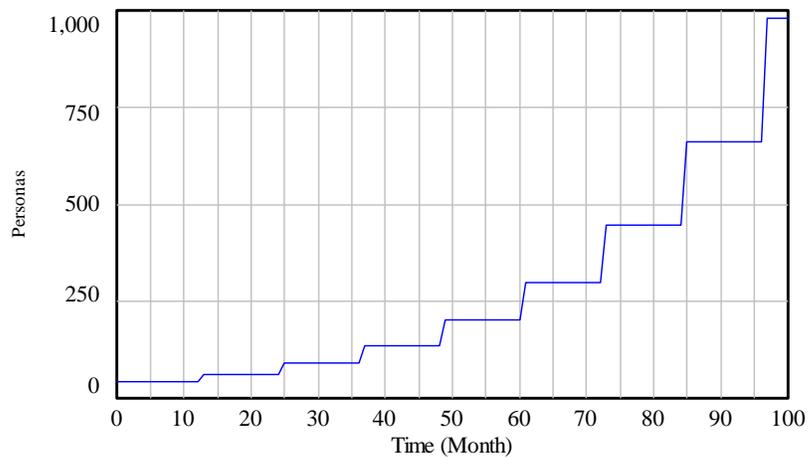
El nivel de población de la zona no interconectada comprende una acumulación positiva iniciando desde el mes 0 con un valor de 42 personas y finalizando en el mes 100 con 981 personas indicando un aumento de 2922 en la población. Infiriendo que la población aumenta sustancialmente. Agregando, que cada 12 meses aumenta generando una brecha y aumentos porcentuales, y que esa brecha se sostiene durante los siguientes 12 meses como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Nivel de población de la zona no interconectada.

Time (Month)	0	13	25	37	49	61	73	85	97
" Poblacion de la zona no interconectada"									
	42	62	92	136	202	300	446	661	981
BRECHA	20	30	44	66	98	146	215	320	
AUMENTO %	4%	6%	9%	14%	21%	31%	45%	67%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2. Resultado de la población de la zona no interconectada.



Población de la zona no interconectada : Current

Fuente: Elaboración propia.

Personas Emigrantes:

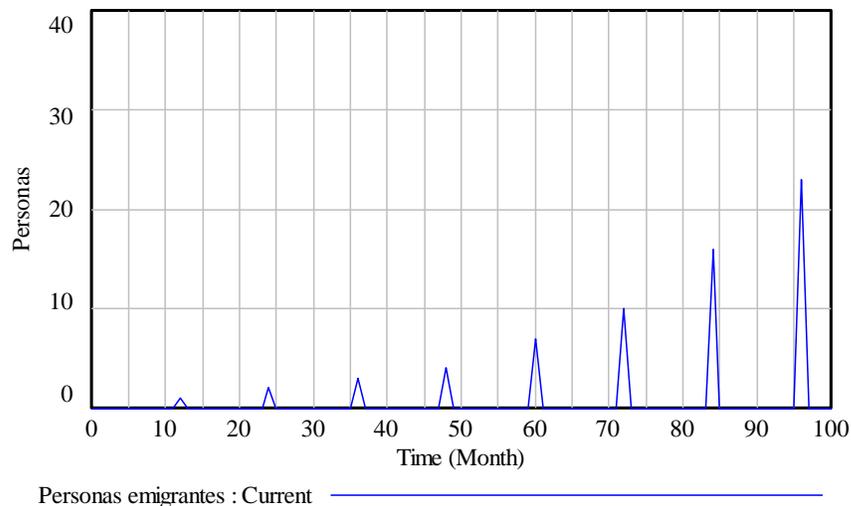
La entrada de personas emigrantes de la población de la zona no interconectada comprende un flujo positivo para cada 12 meses, alcanzando un valor máximo de 23 personas emigrantes en el periodo 96 y un mínimo de 0 personas en el periodo 0 (ver Gráfico 3). Infiriendo entonces que con el pasar del tiempo migraran más personas, pero con menos frecuencia de con las que migran de la población de la zona no interconectada indicando que para 100 meses el número de personas emigrantes será de 66. Analizando entonces cada brecha de los periodos se infiere que el aumento porcentual se establece en 0% y 70% para el penúltimo periodo (ver tabla 6).

Tabla 6. Personas emigrantes a la población de la zona no interconectada.

Time (Month)	0	12	24	36	48	60	72	84	96
" Personas emigrantes"									
	0	1	2	3	4	7	10	16	23
BRECHA	1	1	1	1	3	3	6	7	
AUMENTO %	0%	4%	9%	13%	17%	30%	43%	70%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Resultado de personas emigrantes.



Fuente: Elaboración propia.

Creación de industrias:

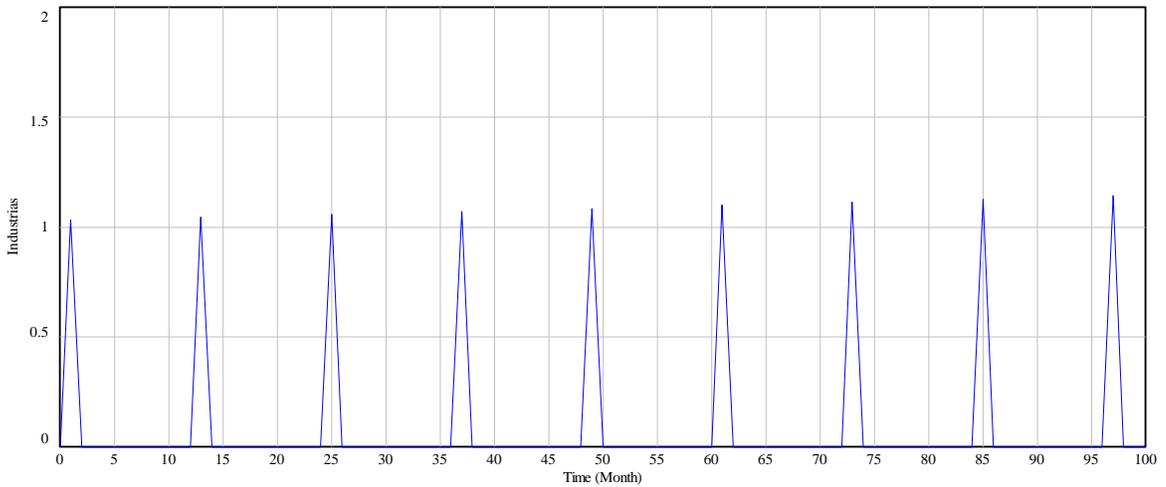
La creación de las industrias comprende en el margen de tiempo de 100 meses la creación de 9 industrias, en donde cada 12 meses se estipula la creación de una industria (Gráfico 4). El valor de simulación en los 100 meses oscila entre 1,03 industrias a 1,14 industrias. Infiriendo que a medida que el tiempo transcurre se crean más industrias; además las brechas entre los periodos de creación establecen desde 0.013 hasta 0.015, para un total de 0.11 en los 100 meses de simulación (ver tabla 7)

Tabla 7. Creación de industrias.

Time (Month)	1	13	25	37	49	61	73	85	97
" Creacion de industrias"									
	1.029	1.043	1.056	1.070	1.084	1.098	1.112	1.127	1.142
BRECHA	0.0133	0.0135	0.0137	0.0139	0.0140	0.0142	0.0144	0.0146	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4. Resultado Creación de industrias.



Fuente: Elaboración propia.

Industrias en la zona no interconectada:

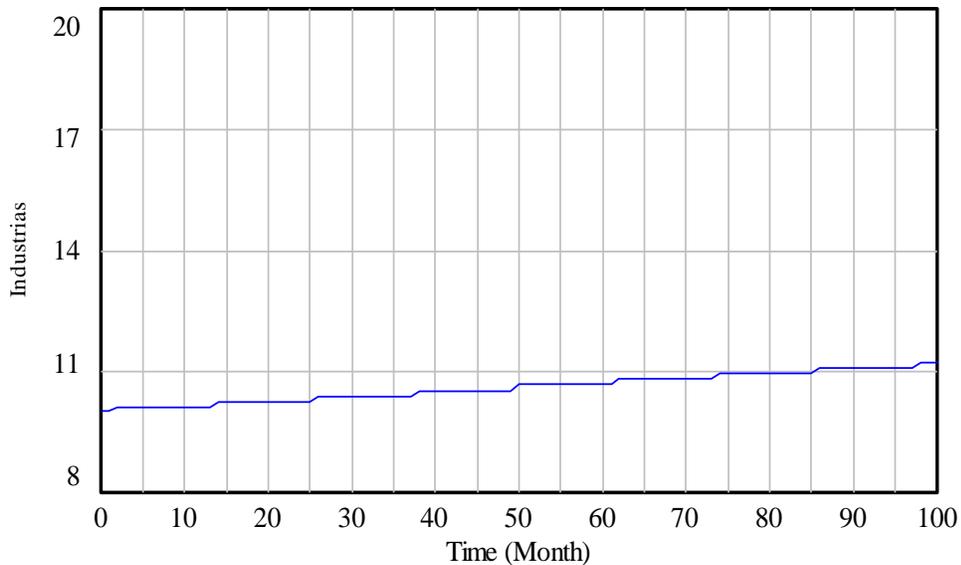
El nivel de población de la zona interconectada comprende una acumulación positiva iniciando desde el mes 0 con un valor de 10 industrias y finalizando en el mes 100 con 166 personas indicando un aumento de 106.05 en la población. Infiriendo que la población aumenta sustancialmente (ver Gráfico 5). Agregando, desde el periodo 0 las industrias no interconectadas fueron 10, y fue hasta el periodo 2 que aumento a 10.13; en ese orden de ideas se comprende que cada 12 meses aumenta generando una brecha y aumentos porcentuales, y que esa brecha se sostiene durante los siguientes 12 meses (ver tabla 8).

Tabla 8. Industrias en la zona no interconectada.

Time (Month)	0	2	14	26	38	50	62	74	86	98
" Industrias en la zona no interconectada"										
	10	10.130	10.261	10.395	10.530	10.667	10.805	10.946	11.088	11.232
BRECHA	0.1300	0.1316	0.1334	0.1351	0.1368	0.1386	0.1404	0.1423	0.1441	
AUMENTO %	89%	90%	91%	93%	94%	95%	96%	97%	99%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5. Resultado de las Industrias en la zona no interconectada.



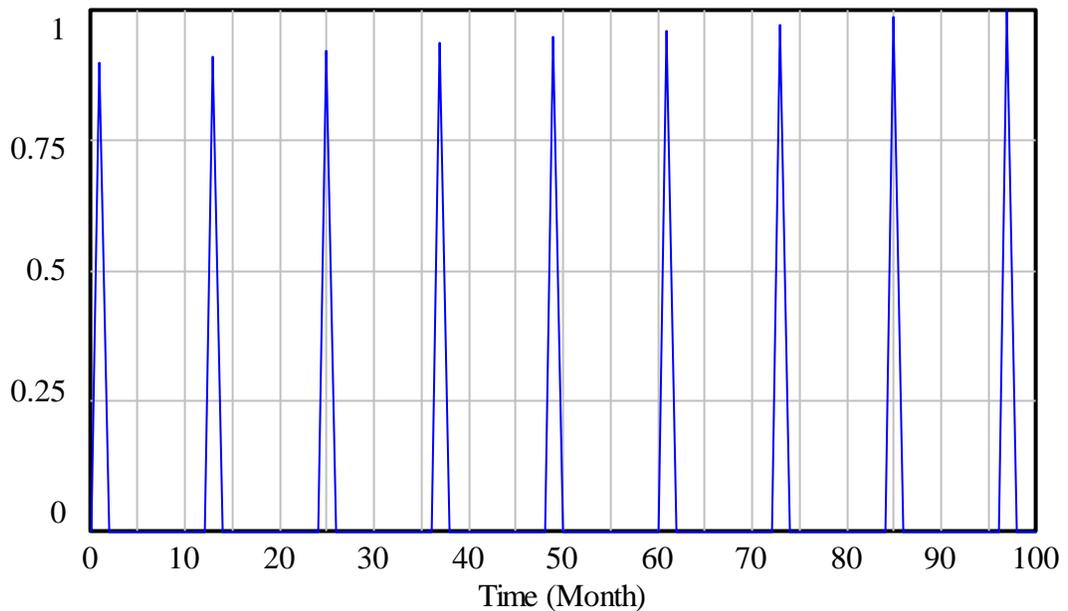
Industrias en la zona no interconectada : Current _____

Fuente: Elaboración propia.

Migracion de industrias:

La variable de flujo que se identifica, tiene oscilaciones que se establecen desde 0.90 industrias en su punto minimo y 0.998 industrias en su maximo indicando en 100 meses no se generan empresas migrando; infiendo que despues de 100 meses las industrias migraran en positivo con muy poca variabilidad (ver gráfico 6).

Gráfico 6. Resultado de la migración de industria.



Migracion de industria : Current 

Fuente: Elaboración propia.

Industria en las zonas interconectadas:

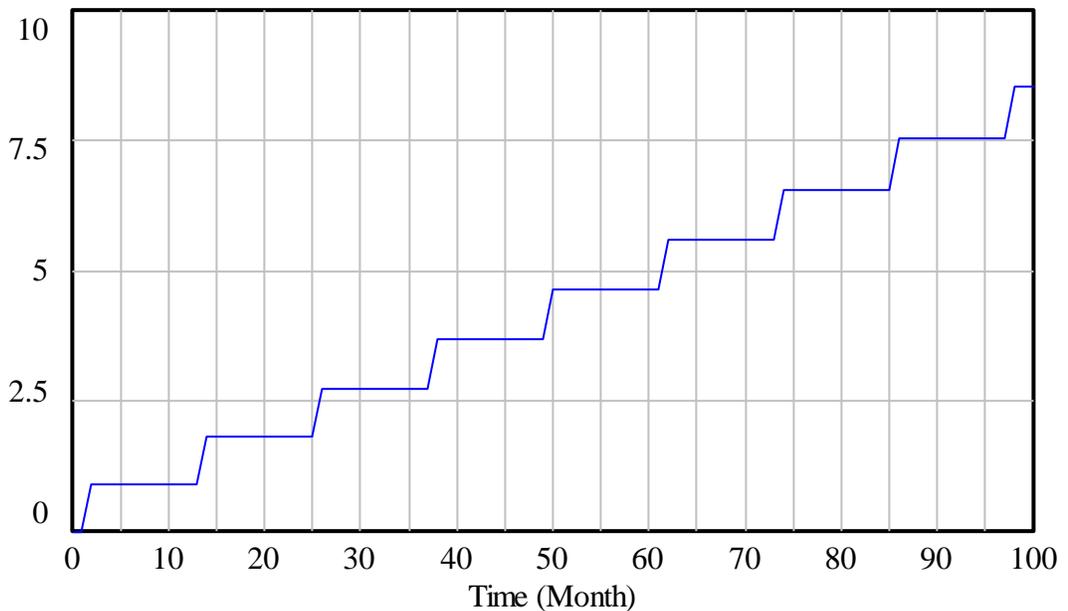
Las industrias en las zonas interconectadas se establecen bajo una subida que fluctua cada 12 meses, indicando su punto minimo de 1 en el periodo 2 manteniendose por los siguientes 12 periodos; y su punto maximo en 8.5 en el periodo 98 (ver Gráfico 7). Generando entonces una brecha entre fluctuacion (ver tabla 9).

Tabla 9. Industrias en las zonas interconectada.

Time (Month)	0	2	14	26	38	50	62	74	86	87	98
" Industria en las zonas interconectada" Runs											
	0	0.900	1.811	2.735	3.670	4.618	5.578	6.551	7.536	7.536	8.534
BRECHA	0.900	0.911	0.923	0.935	0.947	0.960	0.972	0.985	0.997	0.997	
AUMENTO %	0%	11%	21%	32%	43%	54%	65%	77%	88%	88%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7. Resultado de las Industrias en las zonas interconectada.



Industria en las zonas interconectadas : Current —————

Fuente: Elaboración propia.

Contratacion de nuevos empleados:

La contratacion y llegada de nuevos empleados indica que cada 12 meses fluctuan las personas contratadas (ver gráfico 8). En este caso para los 100 meses no supera más de una persona contratada en los periodos. Es notable encontrar que aumenta paulatinamente y en el futuro se puedan contratar más personas. En

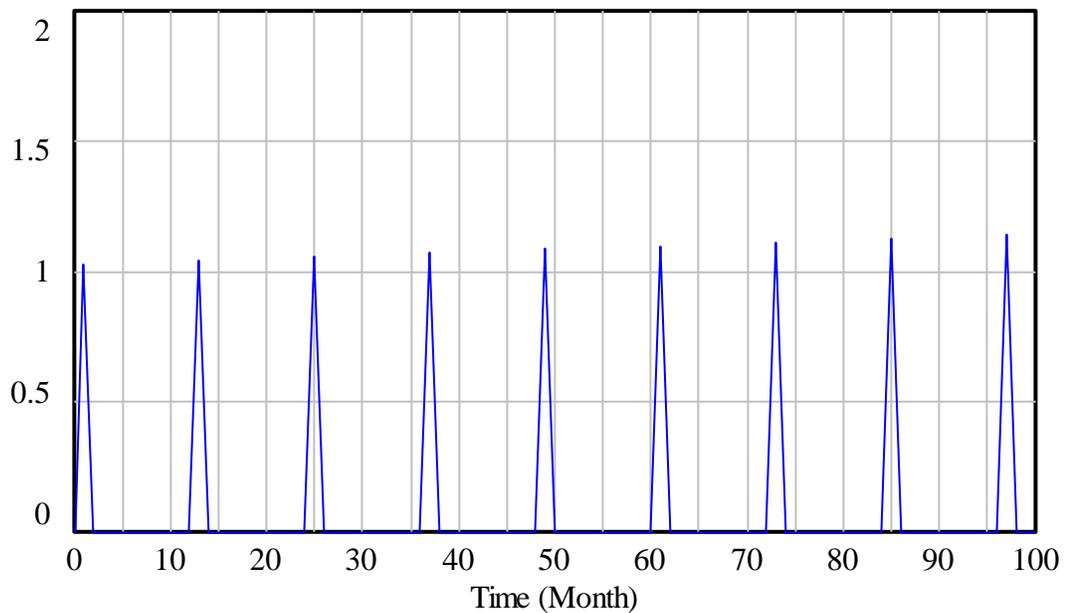
este caso el valor minimo se encuentra en el periodo 1 con 1.03 personas y 1.142 personas en el periodo 97. La brecha se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Contratación de nuevos empleados.

Time (Month)	0	1	13	25	37	49	61	73	85	97
" Contratación de nuevos empleados"										
	0	1.0299	1.0433	1.0569	1.0706	1.0846	1.0987	1.1129	1.1274	1.1421
BRECHA	1.0299	0.0133	0.0135	0.0174	0.1391	0.0140	0.0142	0.1446	0.0146	
AUMENTO %	0%	90%	91%	93%	94%	95%	96%	97%	99%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Resultado de las contrataciones de nuevos empleados.



Contratación de nuevos empleados : Current

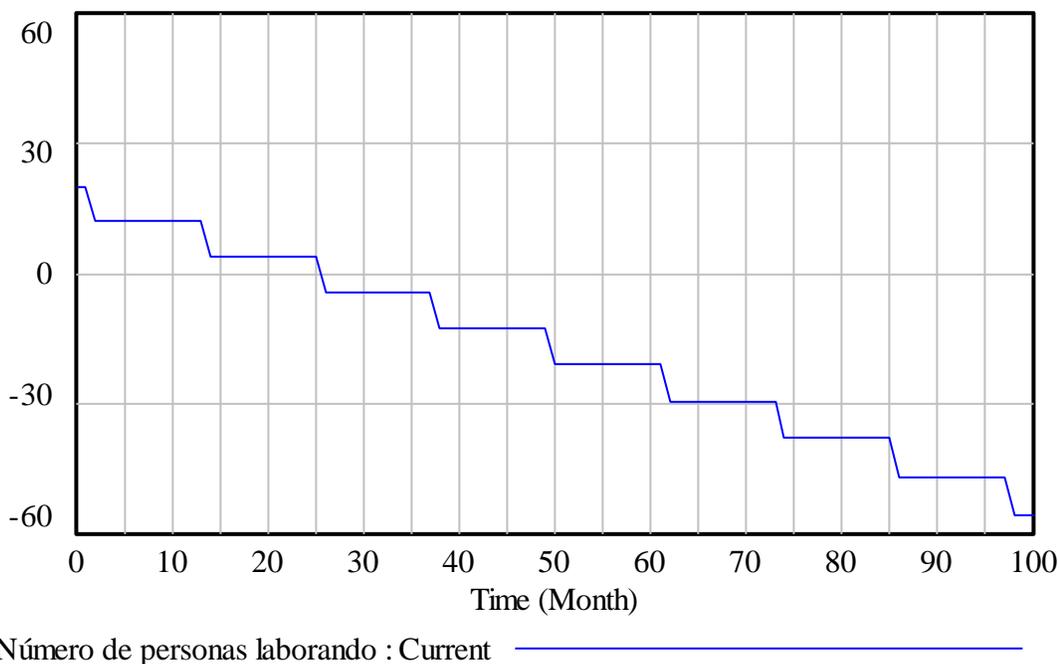
Fuente: Elaboración propia.

Numero de personas laborando:

El número de personas laborando indica que cada 12 meses fluctuan en forma negativa las personas laborando (ver gráfico 9). En este caso para los 100 meses

disminuye con las persona laborando. Es notable encontrar una disminucion paulatinamente indicando que el flujo interno de personas no es caracteristico para que a futuro se encuentren personas laborando, indicando existe un numero limitado de personas laborando en esta investigacion de acuerdo a la implementacion de energias sostenibles. En este caso el valor minimo se encuentra en el periodo 1 con 20 personas y -11 personas en el periodo 97.

Gráfico 9. Resultado de número de personas laborando.



Fuente: Elaboración propia.

Despido de empleados:

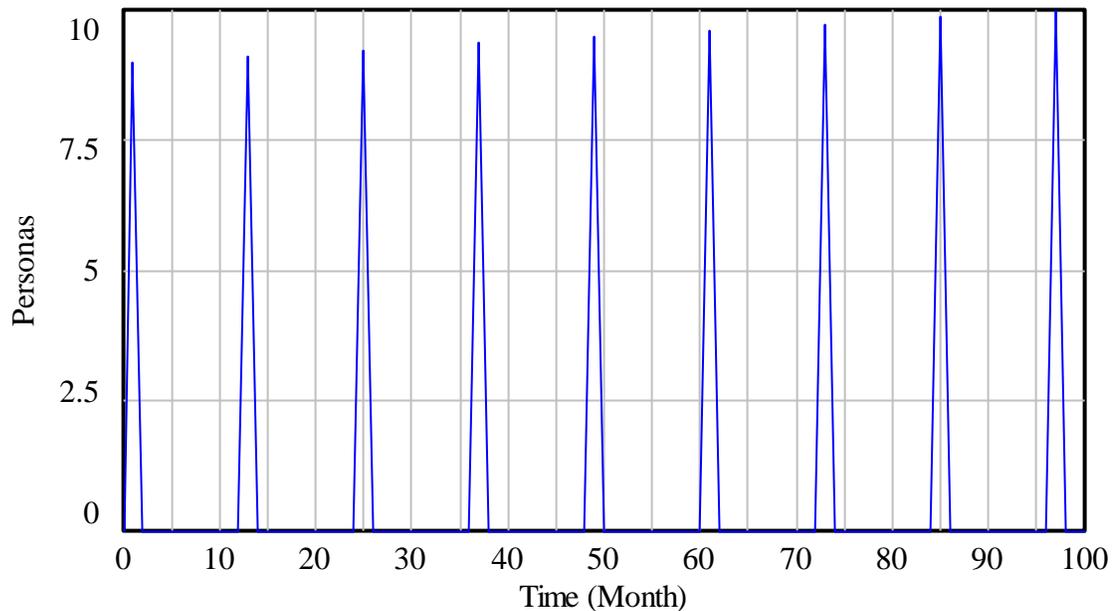
El flujo de despido se establece en cierta cantidad cada 12 meses, en este caso el valor minimo se encuentra en el periodo 1 con 9 empleados, y su maximo en el periodo 97 con 10 personas (ver gráfico 10). Implicando mayores despidos con el tiempo. A su vez entre periodos se genera una brecha (ver tabla 11).

Tabla 11. Despido de empleados.

Time (Month)	0	1	13	25	37	48	61	73	86	97
" Despido de empleados"										
	0	9	9.117	9.235	9.355	9.477	9.600	9.725	9.851	9.979
BRECHA	9	0.1170	0.1185	0.1200	0.1216	0.1230	0.1248	0.1264	0.1280	
AUMENTO %	0%	90%	91%	93%	94%	95%	96%	97%	99%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10. Resultado Despido de empleados.



Despido de empleados : Current

Fuente: Elaboración propia.

Variables Economicas

Costo de generacion de energia por combustible:

Es una variable auxiliar que se establece en 109.2 millones de pesos

Costo de instalacion de aerogeneradores:

El costo fluctua cada 12 meses y aumenta paulatinamente, indicando su punto minimo en 61.21 millones de pesos en el mes 13, y el maximo en 545.66 millones

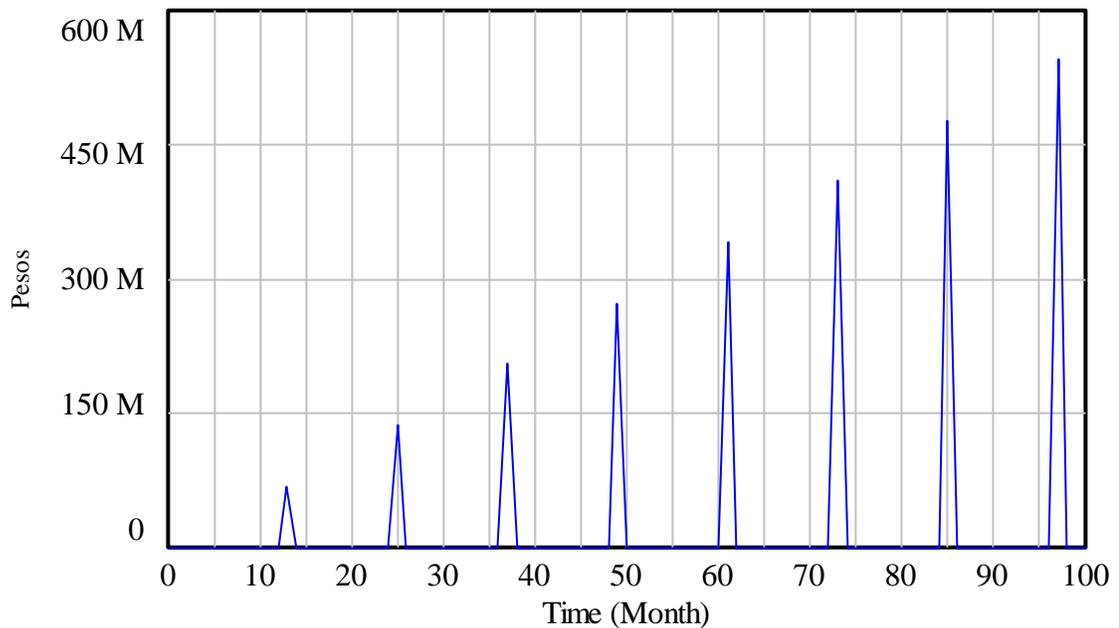
de pesos, indicando que a mayor numero de generadores instalados, se prevaleciera un aumento significativo en el costo de instalacion (ver gráfico 11). Esta fluctuacion genera una brecha establecida en \$68.208.000 como se ve en tlabla 12.

Tabla 12. Costo de instalación de aerogeneradores.

Time (Month)	0	13	25	37	49	61	73	85	97
" Costo de instalacion de aerogeneradores"									
	0	68208	136416	203624	272832	341040	409248	477456	545664
BRECHA	68208	68208	68208	68208	68208	68208	68208	68208	
AUMENTO %	0%	13%	25%	38%	50%	63%	75%	88%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11. Resultado Costo de instalación de aerogeneradores.



Costo de instalación de aerogeneradores : Current

Fuente: Elaboración propia.

Costo de instalacion de paneles solares:

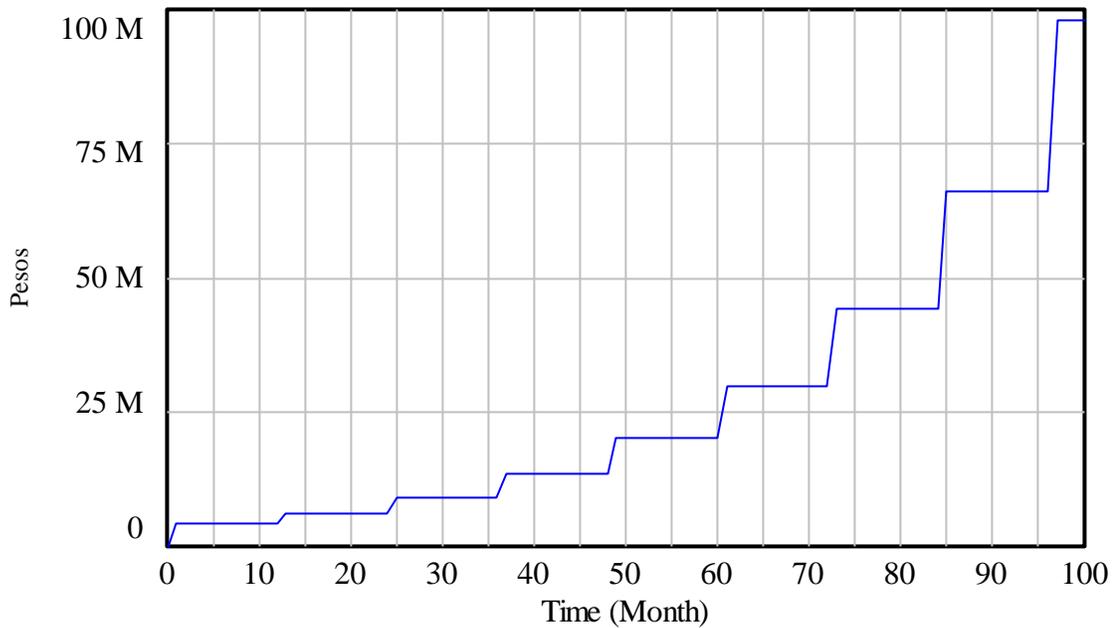
El costo es proporcional al número de paneles solares que se instalen, por lo que con el pasar del tiempo se encuentra que su costo aumenta. Iniciando su valor minimo en el periodo 1 en 4.2 millones de pesos. Y su maximo en el mes 97 con 98.1 millones de pesos (ver gráfico 12). Además se recalca que el costo se mantiene durante 12 meses en cada brecha de simulación (ver tabla 13)

Tabla 13. Costo de instalación de paneles solares.

Time (Month)	0	1	13	25	37	48	61	73	86	97
" Costo de instalación de paneles solares "										
	0	4200	5999	8999	13500	20099	30000	44400	66000	98100
BRECHA	42000	17999	29999	45000	65999	99000	14400	21600	32100	
AUMENTO %	0%	4%	6%	9%	14%	20%	31%	45%	67%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12. Resultado Costo de instalación de paneles solares.



Costo de instalación de paneles solares : Current

Fuente: Elaboración propia.

Variables Ambientales

Huella de carbono:

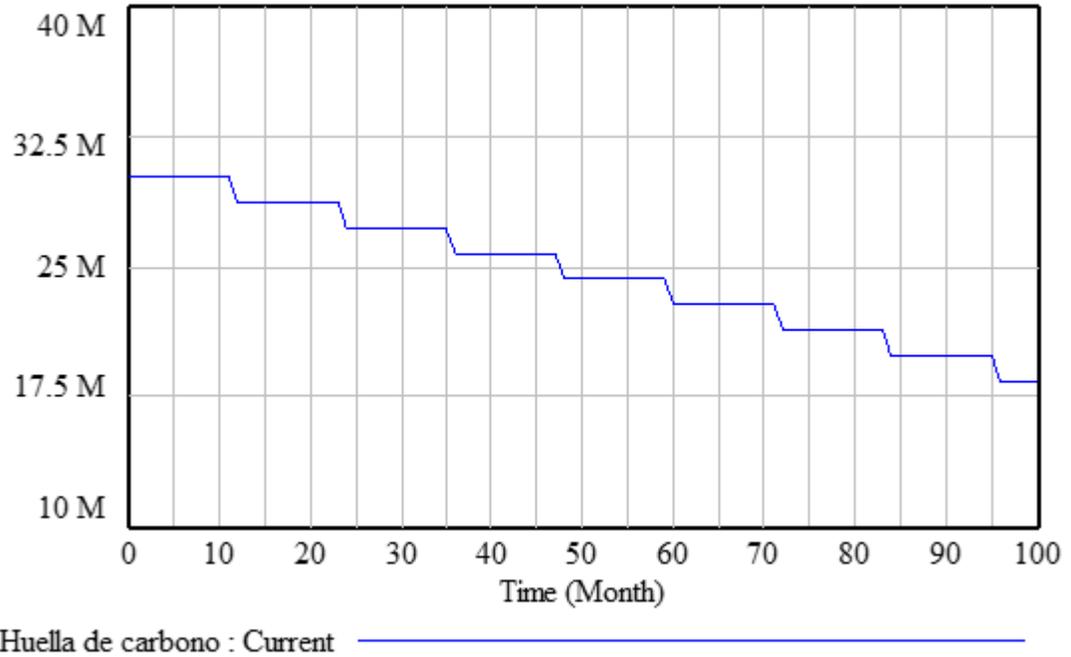
La huella de carbono se relaciona directamente con el consumo de agua y las toneladas de CO2 emitidas al medio ambiente. Se observa que la cantidad de huella de carbono reduce sustancialmente lo que genera entonces los siguientes resultados y analisis. En el periodo 0 se estipula una cantidad de 30M toneladas de Co2 respectivamente y el menor valor se encuentra en el periodo 98 con 18M de toneladas (ver gráfico 13). Además, estas fluctuaciones se generan cada 12 meses y generan una brecha entre periodos (ver tabla 14).

Tabla 14. Huella de carbono.

Time (Month)	0	2	12	74	84	86	96	98
"Huella de carbono"								
Huella de carbono	30243600	30246850	28747170	21269176	19769496	19773054	18273374	18276978
BRECHA	3250	1499680	3292	1499680	3558	1499680	3604	
REDUCCIÓN%	165%	165%	157%	116%	108%	108%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 13. Huella de carbono.



Fuente: Elaboración propia.

Consumo de Agua:

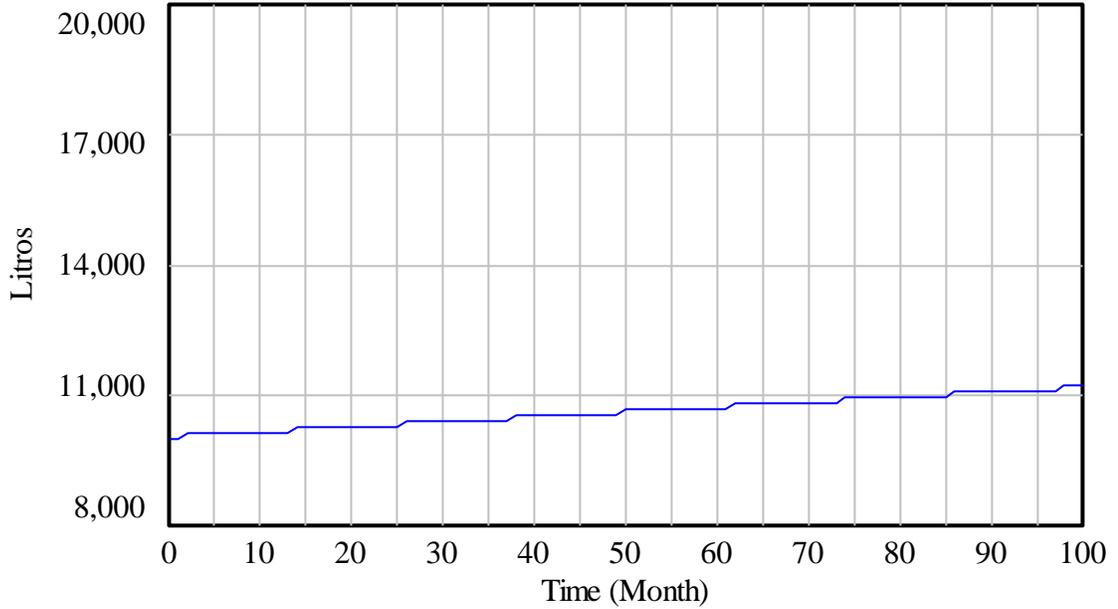
El consumo de agua se incrementa debido al crecimiento de nivel en las que se genera en las industrias. Indicando un valor mínimo de 10000 litros en el periodo 0 y su máximo 11233 litros en el periodo 98 (ver gráfico 14). Además, estas fluctuaciones se generan cada 12 meses y generan una brecha entre periodos (ver tabla 15)

Tabla 15. Consumo de agua.

Time (Month)	0	2	14	26	38	50	62	74	86	98
" Consumo de agua"	10000	10130	10261	10395	10530	10667	10805	10946	11088	11232
BRECHA	130	131.69	133.40	135.13	136.89	138.67	140.47	142.30	144.15	
AUMENTO %	89%	90%	91%	93%	94%	95%	96%	97%	99%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 14. Resultado del Consumo de agua.



Consumo de agua : Current —————

Fuente: Elaboración propia.

Energía Biomasa Generada:

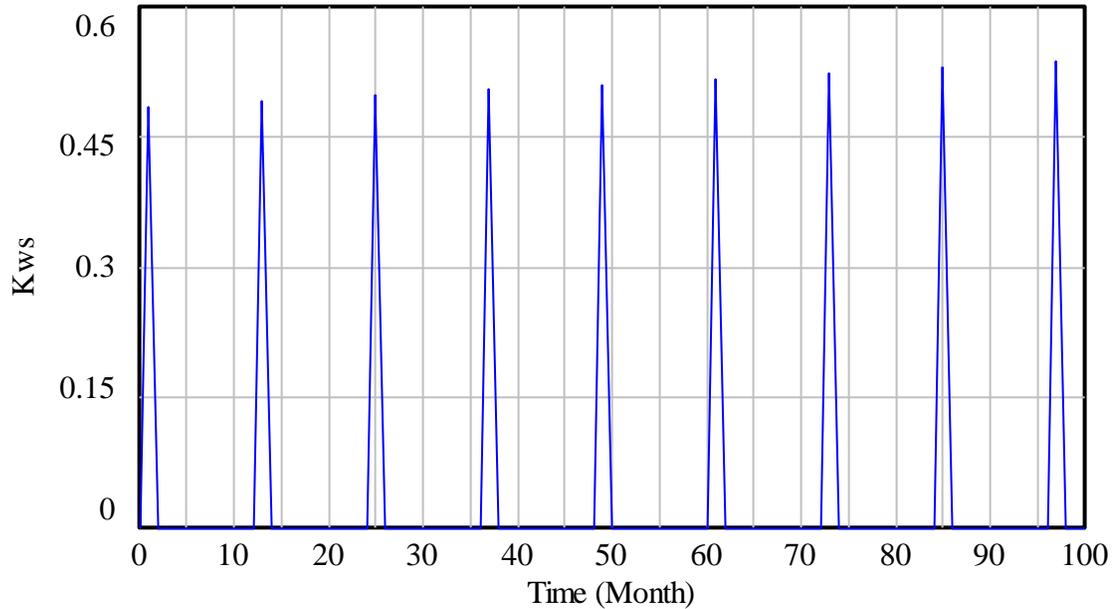
La energía Biomasa generada se establece en cierta cantidad cada 12 meses, en este caso el valor mínimo se encuentra en el periodo 1 con 0.48 Kws, y su máximo en el periodo 97 con 0.53 Kws. Implicando mayores energía con el tiempo (ver gráfico 15). A su vez entre periodos se genera una brecha presentada en la tabla 16

Tabla 16. Gráfico de energía biomasa generadas.

Time (Month)	0	1	13	25	37	49	61	73	85	97
" Energía Biomasa generada"										
	0	0.484	0.491	0.497	0.504	0.510	0.517	0.523	0.530	0.537
BRECHA	0.48492	0.00630	0.00638	0.00646	0.00655	0.00663	0.00672	0.00681	0.00690	
AUMENTO %	0%	90%	91%	93%	94%	95%	96%	97%	99%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 15. Resultado Gráfico de energía biomasa generadas.



Energía Biomasa generada : Current 

Fuente: Elaboración propia.

Energía eólica generada:

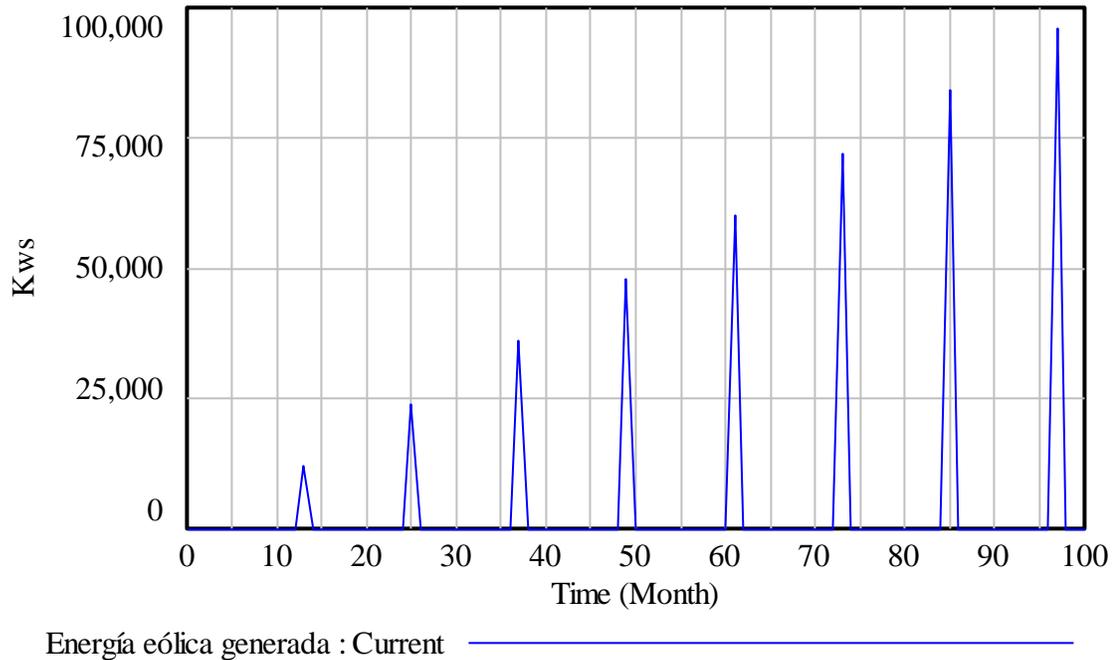
El costo fluctua cada 12 meses y aumenta paulatinamente, indicando su punto mínimo en 12000 Kws en el mes 13, y el máximo en 96000 Kws, indicando que a mayor número de generadores instalados, se prevalecerá un aumento significativo en el costo de instalación (ver Gráfico 16). Esta fluctuación genera una brecha establecida en 12000 Kws como lo muestra la tabla 17.

Tabla 17. Energía Eólica generada

Time (Month)	0	13	25	37	49	61	73	85	97
" Energía eólica generada"									
	0	12000	24000	36000	48000	60000	72000	84000	96000
BRECHA	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	
AUMENTO %	0%	13%	25%	38%	50%	63%	75%	88%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 16. Resultado de energía Eólica generadas.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de sensibilidad de las variables sociales

El análisis de sensibilidad que se realiza simula nuevas tasas y porcentajes de acuerdo con el cambio positivo que se encuentre presente en el modelo. Para ello se harán modificaciones según su tasa inicial, incrementando para dos escenarios y mirando las consecuencias positivas y/o negativas que se puedan encontrar.

Primera sensibilización:

Para ver la sensibilidad de las variables sociales, como son: Personas migrantes, Población de la zona no interconectada, Personas emigrantes, Población de zonas Interconectadas, Numero de hogares, Consumo de energía total de hogares y Numero de paneles solares. Se amplía entonces la tasa de migración para encontrar las fluctuaciones del modelo frente a este cambio, para ello se tiene en cuenta el valor inicial de 50%, incrementando a un 70% y por último en un 90%. Encontrando entonces los siguientes resultados:

Personas Migrantes:

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo de las personas migrantes de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 50% en 343 personas, con 70% con 3253 personas y en 90% con valores de 3253 personas (ver gráfico 17). La brecha de las personas se amplía en la tabla 18.

Tabla 18. Personas migrantes

Personas Migrantes	Meses Resumidos				Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	0	12	24	96				
90% tasa de migración	0	38	72	3253	6886	5881	68	58
70% tasa de migración	0	30	51	1167	2827	1822	28	18
50% tasa de migración	0	21	32	343	1005	1005	10	10

Fuente: Elaboración propia.

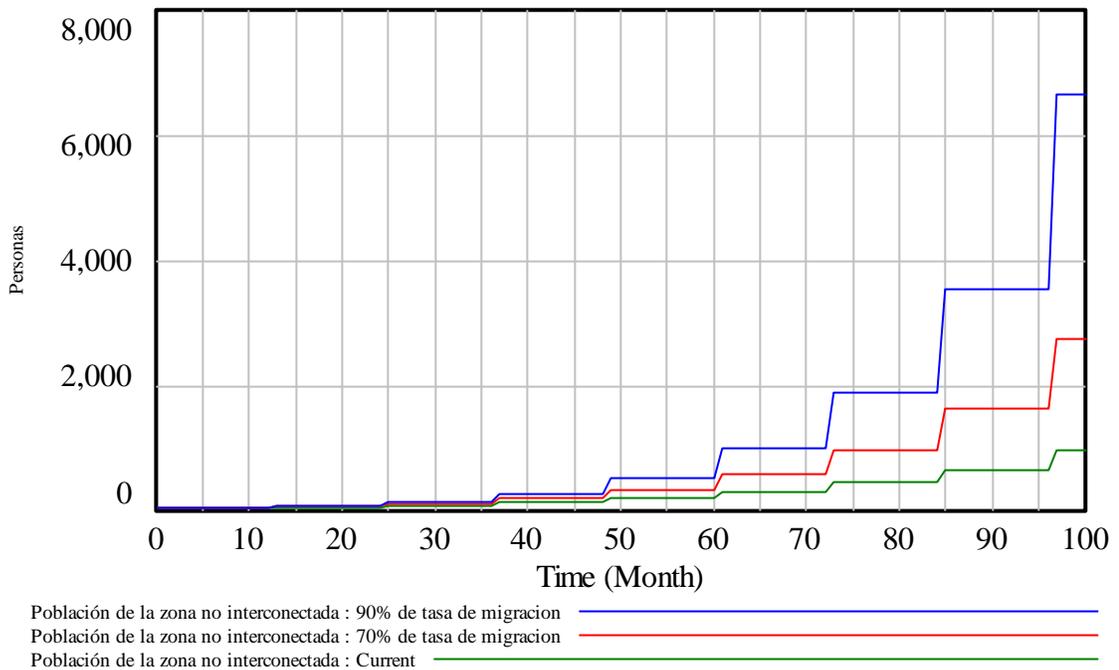
Observando entonces una mejora de ingresos de 58 personas promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 18 personas promedio si se aumenta a 70% y un promedio de 10 personas promedio con una tasa de migración del 50%

90% tasa de migración	42	42	79	3536	6662	89300	1154	884
70% tasa de migración	42	42	71	1622	2731	30892	576	306
50% tasa de migración	42	42	62	661	981	27258	270	270

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que la población de la zona no interconectadas aumenta así: 884 personas promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 306 personas promedio si se aumenta a 70% y un promedio de 270 personas promedio con una tasa de migración del 50%

Gráfico 18. Análisis de sensibilidad de la población de la zona no interconectada.



Fuente: Elaboración propia.

Personas emigrantes:

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo de las personas emigrantes de la población no interconectada de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración

de 50% en 23 personas, con 70% con 58 personas y en 90% con valores de 127 personas (ver gráfico 19). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 20.

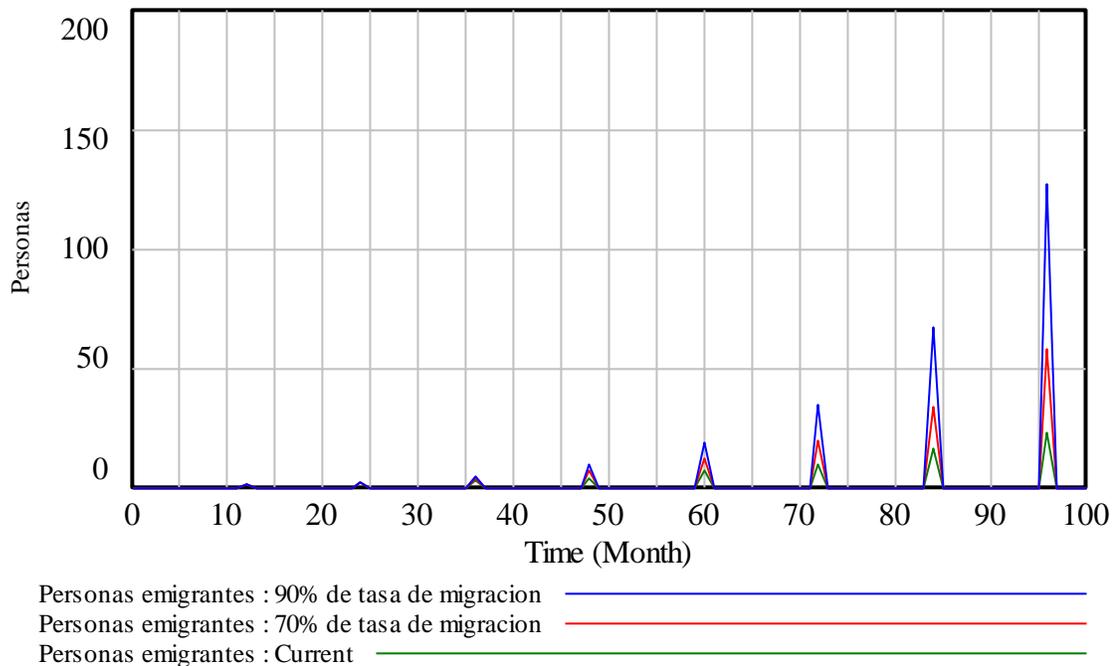
Tabla 20. Análisis de sensibilidad de personas emigrantes

Personas emigrantes	Meses Resumidos				Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	0	12	24	96				
90% tasa de migración	0	1	2	127	266	200	3	1
70% tasa de migración	0	1	2	58	138	72	1	1
50% tasa de migración	0	1	2	23	66	66	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que las personas emigrantes aumentan así: 2 personas promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 1 personas promedio si se aumenta a 70% y un promedio de 1 personas promedio con una tasa de migración del 50%.

Gráfico 19. Análisis de sensibilidad de personas emigrantes



Fuente: Elaboración propia.

Población de zonas interconectadas:

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo de la población de zonas interconectadas de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 50% en 166 personas, con 70% con 238 personas y en 90% con valores de 366 personas (ver gráfico 20). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 21.

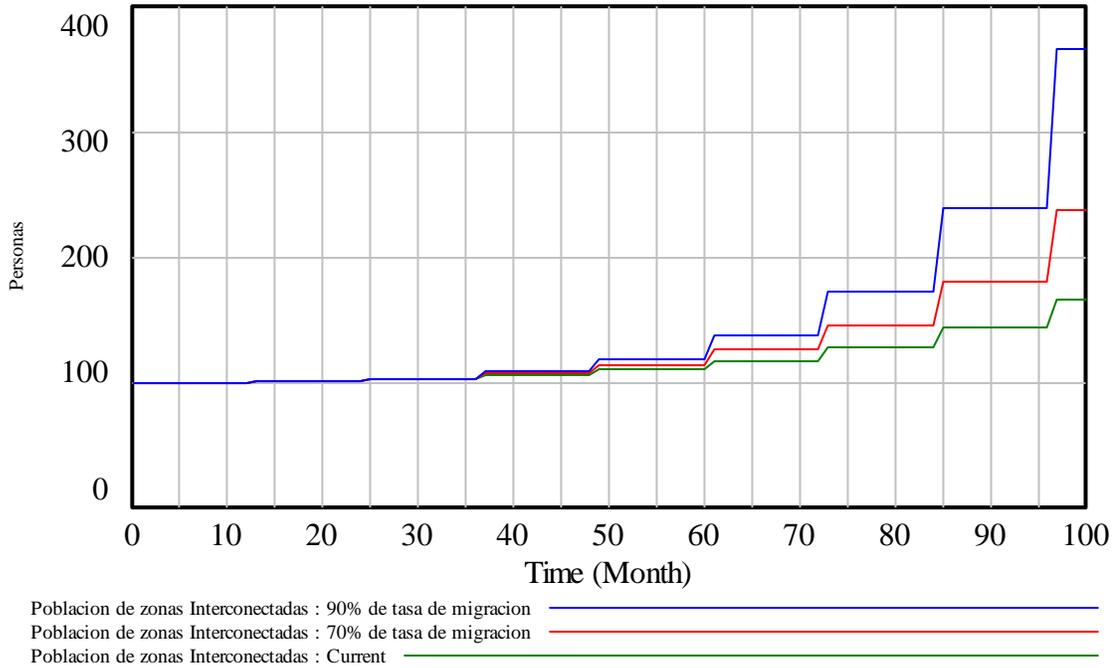
Tabla 21. Análisis de sensibilidad de población de zonas interconectadas

Población de zonas interconectadas	Meses Resumidos					Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	0	12	24	96	100				
Time (Month)	0	12	24	96	100				
90% tasa de migración	100	100	101	239	366	14500	2852	144	28
70% tasa de migración	100	100	101	180	238	12776	1128	126	11
50% tasa de migración	100	100	101	143	166	11648	11648	115	115

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que la población de zonas interconectadas aumenta así: 28 personas más que promedio del sistema si se aumenta la tasa a 90%, 11 personas más que el promedio si se aumenta a 70% y un promedio de 115 personas promedio con una tasa de migración del 50%.

Gráfico 20. Análisis de sensibilidad de población de zonas interconectadas.



Fuente: Elaboración propia.

Consumo de energía total de hogares

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo de la población de zonas interconectadas de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 50% en 51339 KW, con 70% con 142922 KW y en 90% con valores de 348645 KW (ver gráfico 21). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 22.

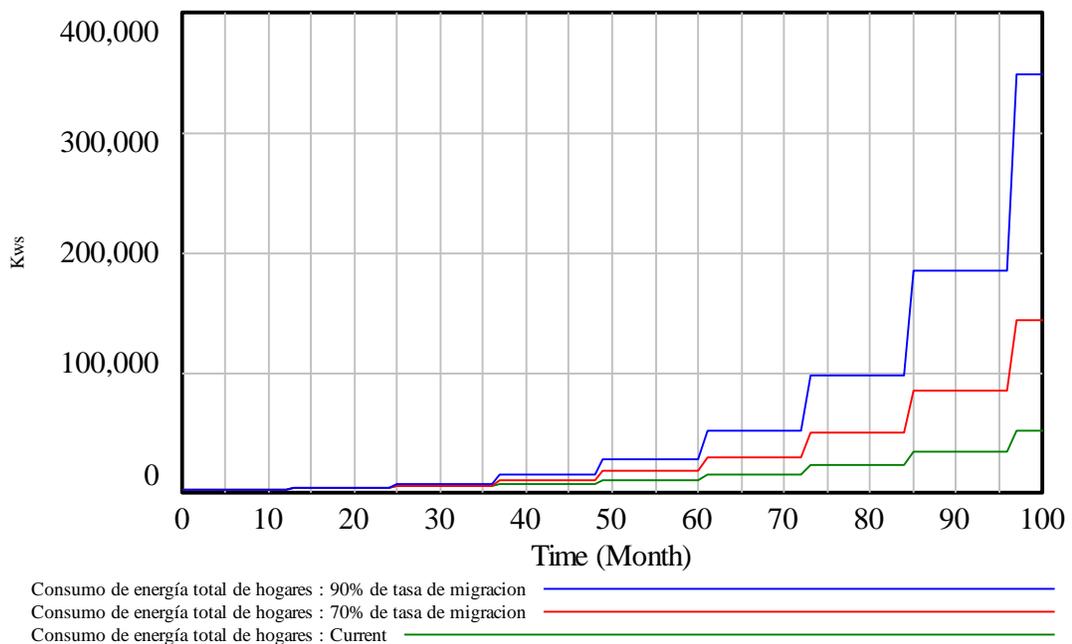
Tabla 22. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de hogares

Consumo de energía total de hogares	Meses Resumidos					Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	0	12	24	96	100				
90% tasa de migración	2198	2198	4134	185050	348644	6099869	4673367	60395	46271
70% tasa de migración	2198	2198	3715	84884	142922	3043183	1616681	30131	16007
50% tasa de migración	2198	2198	3244	34592	51339	1426502	1426502	14124	14124

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que el consumo de los hogares aumenta así: 46271 KW promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 16007 KW promedio si se aumenta a 70% y un promedio de 14124 KW promedio con una tasa de migración del 50%.

Gráfico 21. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de hogares.



Fuente: Elaboración propia.

Número de hogares:

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo del número de hogares de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 50% en 327 Hogares, con 70% con 910 Hogares y en 90% con valores de 2220 Hogares (ver gráfico 22). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 23.

Tabla 23. Análisis de sensibilidad de los numero de hogares

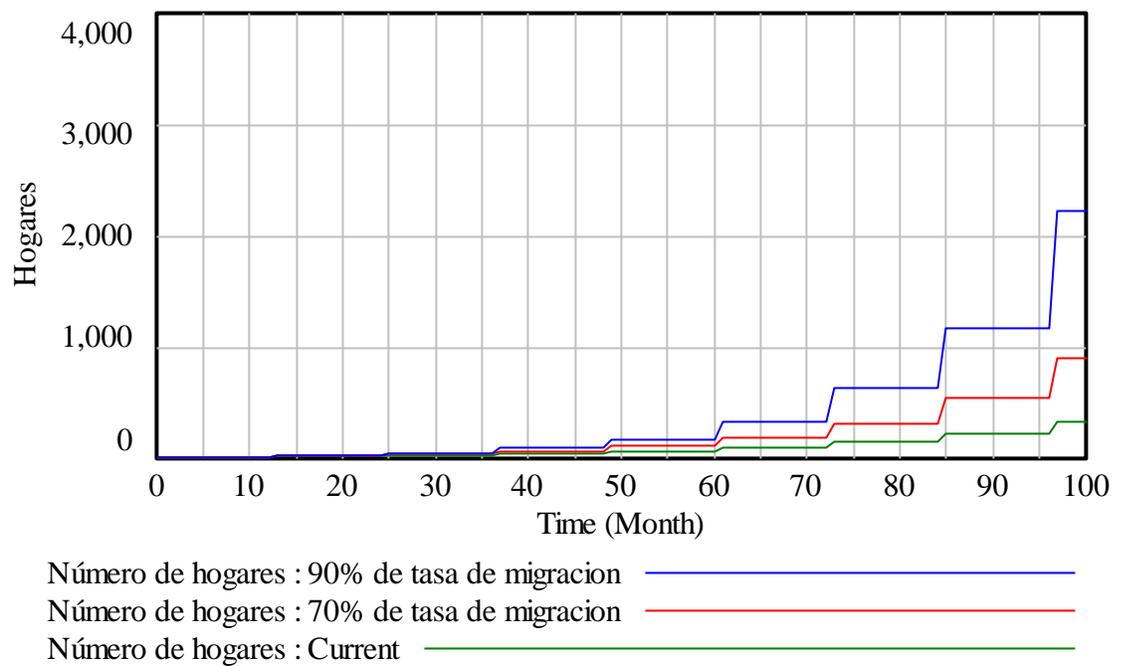
Número de hogares	Meses Resumidos								
Time (Month)	0	12	24	96	100	Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas

90% tasa de migración	14	14	26	1178	2220	38810	29760	384	295
70% tasa de migración	14	14	23	540	910	19350	10300	192	102
50% tasa de migración	14	14	20	220	327	9050	9050	90	90

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que el consumo de los hogares aumenta así: 295 hogares promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 102 hogares promedio si se aumenta a 70% y un promedio de 90 hogares promedio con una tasa de migración del 50%.

Gráfico 22. Análisis de sensibilidad de los números de hogares.



Fuente: Elaboración propia.

Número de paneles solares:

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo del número de paneles solares de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 50% en 7 paneles solares, con 70% con 18.2 paneles solares y en 90% con valores de 44.4

paneles solares (ver gráfico 23). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 24.

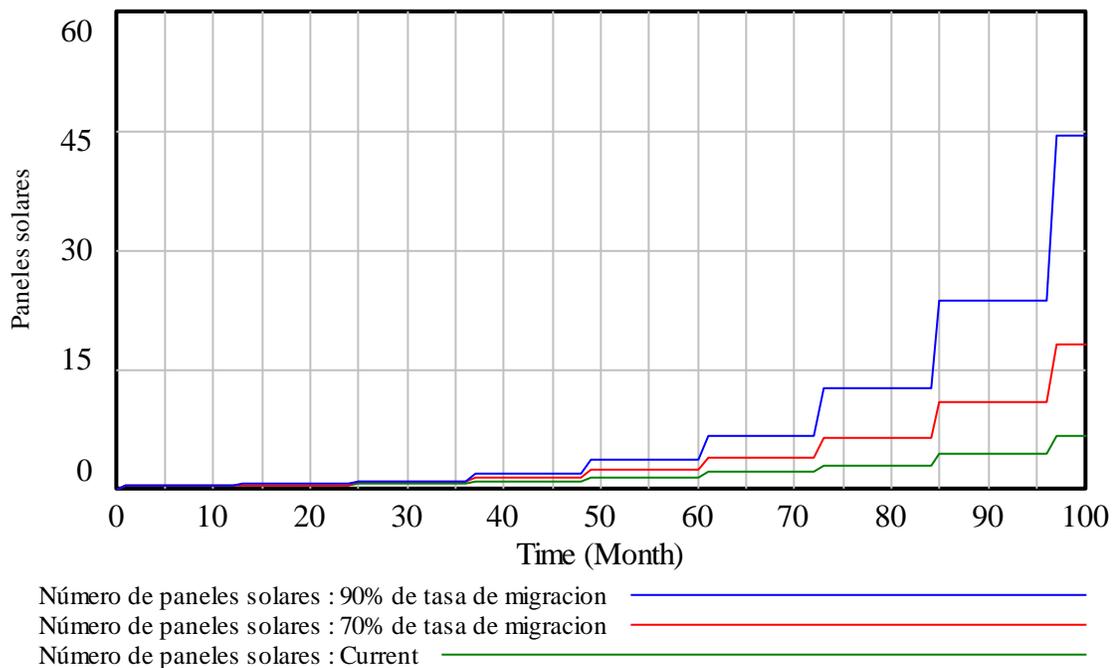
Tabla 24. Análisis de sensibilidad de numero de paneles solares

Número de paneles solares	Meses Resumidos					Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	Time (Month)	0	12	24	96				
90% tasa de migración	0	0.28	0.519	23.55	44.39	776	595	8	6
70% tasa de migración	0	0.28	0.459	10.80	18.19	387	206	4	2
50% tasa de migración	0	0.28	0.399	4.40	6.53	181	181	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que el consumo de los hogares aumenta así: 6 paneles solares promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 2 paneles solares promedio si se aumenta a 70% y un promedio de 2 paneles solares promedio con una tasa de migración del 50%.

Gráfico 23. Análisis de sensibilidad de numero de paneles solares.



Fuente: Elaboración propia.

Segunda sensibilización:

Para ver la sensibilidad de las variables sociales, como son: Creación de industrias, Industrias en la zona no interconectada, Migración de industria, Industria en las zonas interconectadas y Consumo de energía total de industria. Se amplía entonces la tasa de creación para industria con el fin de encontrar las fluctuaciones del modelo frente a este cambio, para ello se tiene en cuenta el valor inicial de 10%, incrementando a un 50% y por último en un 90%. Encontrando entonces los siguientes resultados:

Creación de industrias

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo la creación de industrias de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 10% en 1 industrias, con 50% con 39 industrias y en 90% con valores de 311 industrias (ver gráfico 24). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 25.

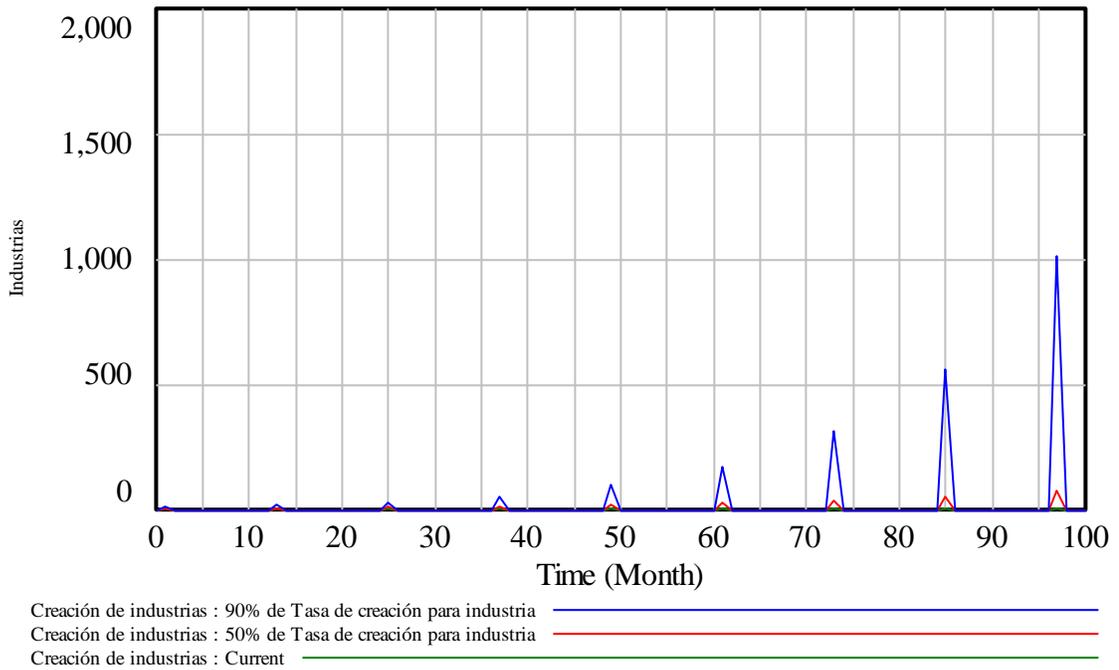
Tabla 25. Análisis de sensibilidad de las creaciones de industrias

Creación de industrias	Meses Resumidos							Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	1	13	25	37	49	61	97				
Time (Month)	1	13	25	37	49	61	97				
90% tasa de creación para industria	9	16	29	53	96	173	1008	2257	2247	22	22
50% tasa de creación para industria	5	7	10	14	20	28	76	252	243	2	2
10% tasa de creación para industria	1	1	1	1	1	1	1	10	10	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que la creación de industrias aumenta así: 2747 industrias al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 243 industrias si se aumenta a 50% y 10 industrias con una tasa de creación del 10%.

Gráfico 24. Análisis de sensibilidad de las creaciones de industrias.



Fuente: Elaboración propia.

Industrias en la zona no interconectada

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo del número de industrias en la zona no interconectada de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 10% en 11 industrias, con 50% con 213 industrias y en 90% con valores de 2017 industrias (ver gráfico 25). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 26.

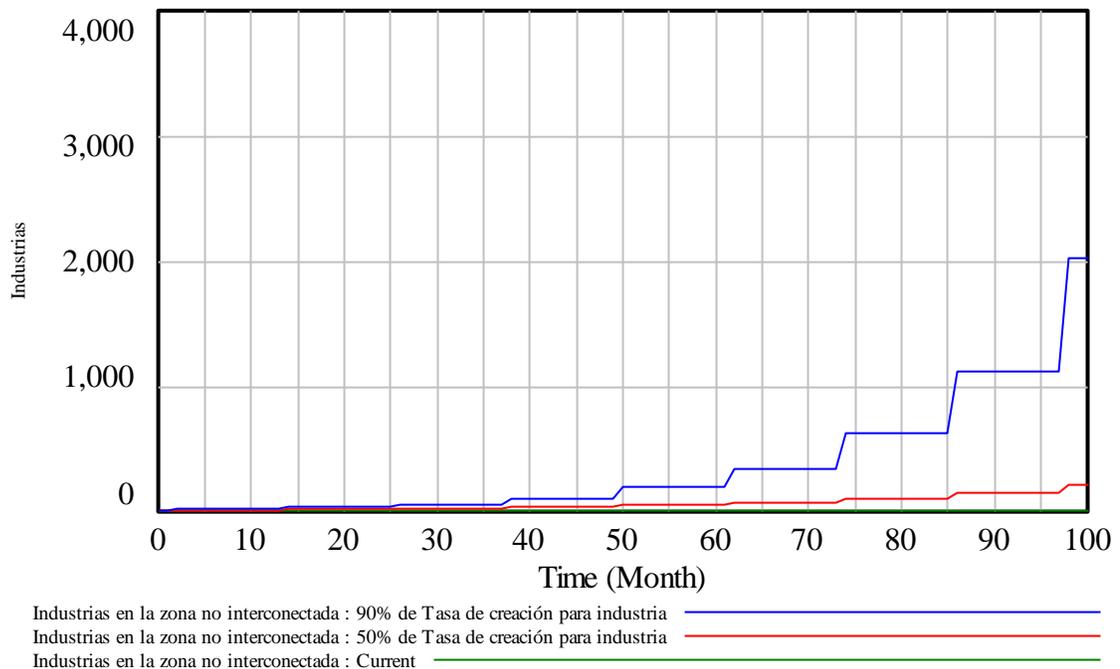
Tabla 26. Análisis de sensibilidad de las industrias en la zona no interconectada

Industrias en la zona no interconectada	Meses Resumidos								Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	1	13	25	37	49	61	97	100				
90% tasa de creación para industria	10	18	33	59	107	192	1120	2017	36044	34972	357	346
50% tasa de creación para industria	10	14	20	28	40	55	152	213	6593	5522	65	55
10% tasa de creación para industria	10	10	10	10	11	11	11	11	1072	1072	11	11

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que las industrias en la zona no interconectada aumentan así: 346 industrias promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 55 industrias promedio si se aumenta a 50% y 11 industrias promedio con una tasa de creación del 10%.

Gráfico 25. Análisis de sensibilidad de las industrias en la zona no interconectada.



Fuente: Elaboración propia.

Migración de industria

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo de la migración de industrias de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 10% en 1 industria, con 50% con 15 industrias y en 90% con valores de 112 industrias (ver gráfico 26). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 28.

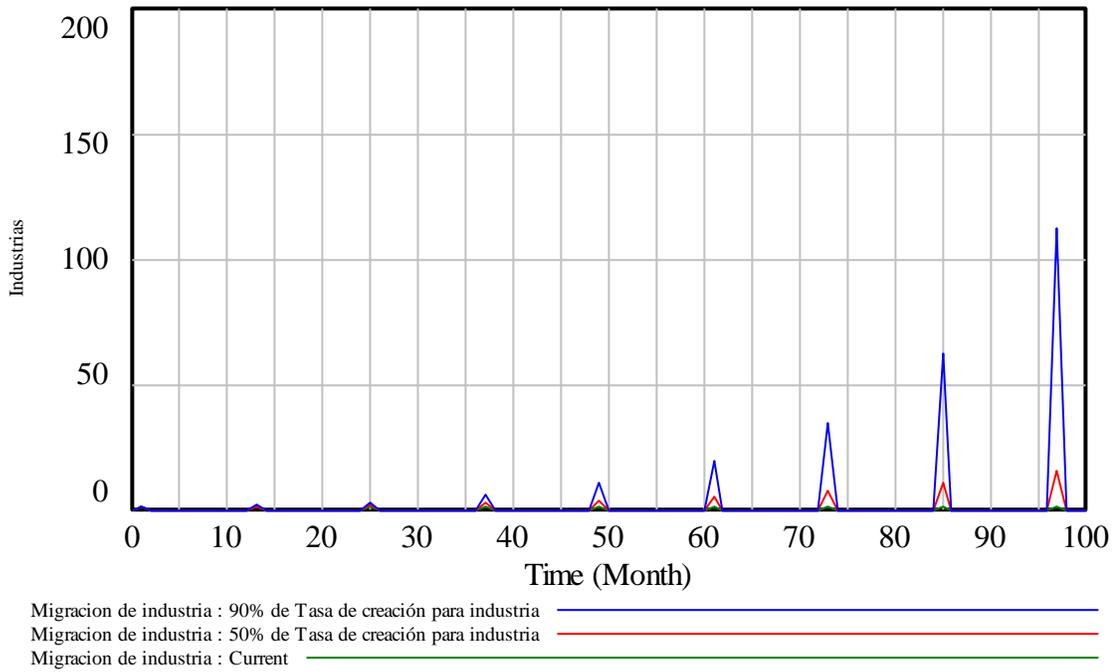
Tabla 27. Análisis de sensibilidad de migración de industria

Migración de industria	Meses Resumidos								Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	1	13	25	37	49	61	97	100				
90% tasa de creación para industria	1	2	3	6	11	19	112	0	250	242	2	2
50% tasa de creación para industria	1	1	2	3	4	6	15	0	50	41	0	0
10% tasa de creación para industria	1	1	1	1	1	1	1	0	9	9	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que la migración de industrias aumenta así: 250 industrias al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 50 industrias si se aumenta a 50% y 9 industrias con una tasa de creación del 10%.

Gráfico 26. Análisis de sensibilidad de migración de industria.



Fuente: Elaboración propia.

Industria en las zonas interconectadas

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo del número de industrias en la zona interconectada de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 10% en 426 industria, con 50% con 1327 industrias y en 90% con valores de 4323 industrias (ver gráfico 27). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 28.

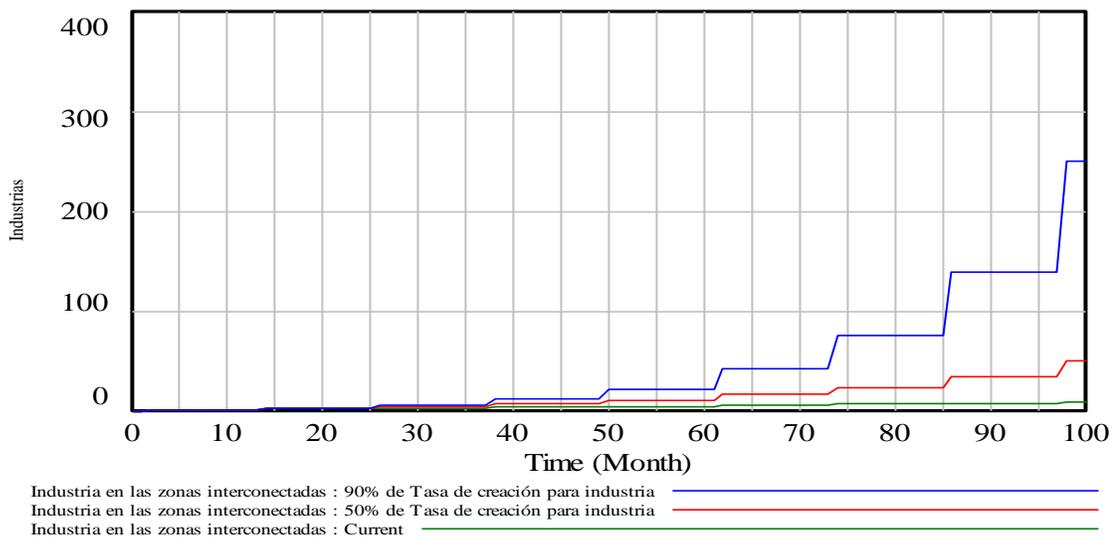
Tabla 28. Análisis de sensibilidad de las industrias en las zonas no interconectadas

Industria en las zonas interconectada	Meses Resumidos								Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	1	13	25	37	49	61	97	100				
90% tasa de creación para industria	0	1	3	5	11	22	138	250	4323	3896	43	39
50% tasa de creación para industria	0	1	2	4	6	10	35	50	1327	901	13	9
10% tasa de creación para industria	0	1	2	3	4	5	8	9	426	426	4	4

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que cuando el número de industrias en las zonas interconectadas aumenta así: 39 industrias promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 9 industrias promedio si se aumenta a 50% y 4 industrias promedio con una tasa de creación del 10%.

Gráfico 27. Análisis de sensibilidad de las industrias en las zonas interconectadas



Fuente: Elaboración propia.

Consumo de energía total de industria

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo del consumo de energía total de la industria de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración

de 10% en 83380 KW, con 50% con 1.578 millones de KW y en 90% con valores de 14.97 Millones de KW (ver gráfico 28). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 29.

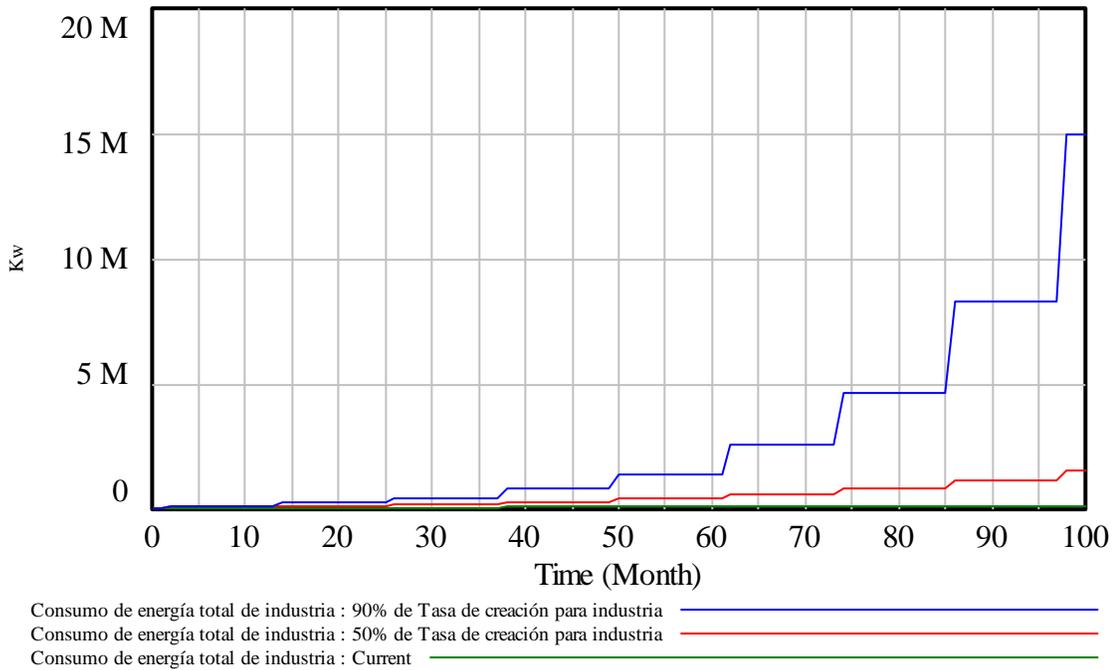
Tabla 29. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de industria

Consumo de energía total de industria	Meses Resumidos								Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	1	13	25	37	49	61	97	100				
90% tasa de creación para industria	74230	134356	243185	440165	1426134	1426134	8317212	14970980	267554	259599	26490	2570
50% tasa de creación para industria	74230	104664	147577	208083	410756	410756	1127115	1577961	489431	409886	48458	4058
10% tasa de creación para industria	74230	75195	76173	77163	79182	79182	82310	83381	79544	79544	78757	7875

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que cuando Consumo de energía total de las industrias aumenta así: 2.57 Millones de KW promedio al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 405828 KW promedio si se aumenta a 50% y 78757 KW promedio con una tasa de creación del 10%.

Gráfico 28. Análisis de sensibilidad del consumo de energía total de industria.



Fuente: Elaboración propia.

Tercera sensibilización:

Para ver la sensibilidad de las variables sociales, como son: Contratación de nuevos empleados, Número de personas laborando y Despido de empleados. Se amplía entonces la tasa de contratación con el fin de encontrar las fluctuaciones del modelo frente a este cambio, para ello se tiene en cuenta el valor inicial de 10%, incrementando a un 50% y por último en un 90%. Encontrando entonces los siguientes resultados:

Contratación de nuevos empleados

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo de contratación de nuevos empleados de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de migración de 10% en

1 industria, con 50% con 6 industrias y en 90% con valores de 10 industrias (ver gráfico 29). La brecha de las personas se amplía en la siguiente tabla 30.

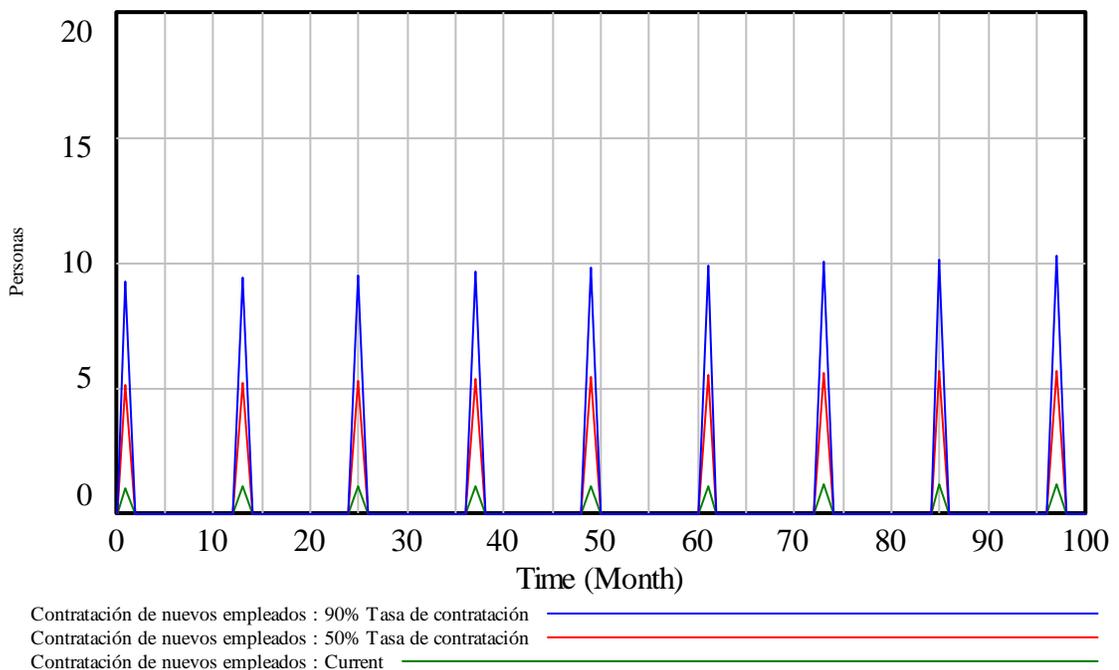
Tabla 30. Análisis de sensibilidad de contratación de nuevos empleados

Contratación de nuevos empleados	Meses Resumidos								Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	1	13	25	37	49	61	97	100				
90% Tasa de contrataciones	9	9	10	10	10	10	10	0	88	78	1	1
50% Tasa de contrataciones	5	5	5	5	5	5	6	0	49	39	0	0
10% Tasa de contrataciones	1	1	1	1	1	1	1	0	10	10	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que cuando el número de industrias en Contratación de nuevos empleados aumenta así: 78 personas al sistema si se aumenta la tasa a 90%, 39 personas si se aumenta a 50% y 10 personas con una tasa de contratación del 10%.

Gráfico 29. Análisis de sensibilidad de contratación de nuevos empleados.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de sensibilidad de las variables económicas

El análisis de sensibilidad que se realiza simula nuevas tasas y porcentajes de acuerdo con el cambio positivo que se encuentre presente en el modelo. Para ello se harán modificaciones según su tasa inicial, incrementando para dos escenarios y mirando las consecuencias positivas y/o negativas que se puedan encontrar.

Primera sensibilización:

Para ver la sensibilidad de las variables económicas, como son: Costo de instalación de paneles solares, Oferta de energía eléctrica, Margen del sistema eléctrico y demanda de energía eléctrica, se amplía entonces la tasa de instalación de paneles solares para encontrar las fluctuaciones del modelo frente a este cambio, para ello se tiene en cuenta el valor inicial de 25%, incrementando a un 50% y por último en un 90%. Encontrando entonces los siguientes resultados:

Oferta de energía eléctrica

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses, se observa un declive mínimo de 850 kW y aumento consiguiente significativo en toda la simulación; encontrando entonces máximos con una tasa de contratación de 10% en 129637 kW, con 50% con 150075 kW y en 90% con valores de 182775 kW (ver gráfico 30). La brecha de la oferta se amplía en la siguiente tabla 31.

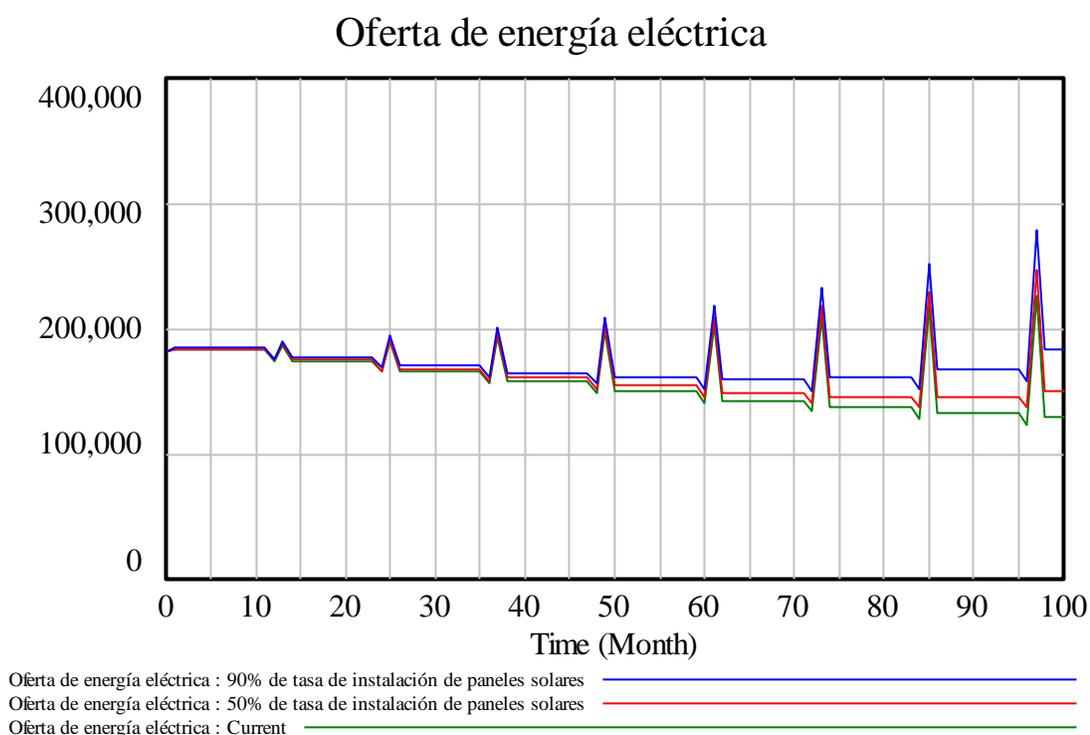
Tabla 31. Análisis de sensibilidad de oferta de energía eléctrica

Oferta de energía eléctrica	Meses Resumidos									Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	0	1	2	12	85	86	96	97	98				
90% de tasa de instalación de paneles solares	182000	185150.484	185150	176050	251800.531	167800	158700	278775.531	182775	17059954.61	838200.016	172322.774	8466.66682
50% de tasa de instalación de paneles solares	182000	183750.484	183750	174650	229800.531	145800	136700	246075.531	150075	16221754.59	523875.023	163856.107	5291.6669
10% de tasa de instalación de paneles solares	182000	182875.484	182875	173775	216050.531	132050	122949.992	225638.031	129637.492	15697879.57	15697879.6	158564.44	158564.44

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que cuando la tasa de contratación aumenta la Oferta de energía eléctrica aumenta así: 8466 kW más del promedio inicial del sistema si se aumenta la tasa a 90%, 5291 kW más del promedio inicial del sistema si se aumenta la tasa al 50% y 158564.4 kW es el promedio inicial con una tasa de contratación del 10%.

Gráfico 30. Análisis de sensibilidad de la oferta de energía eléctrica.



Fuente: Elaboración propia.

Margen del sistema eléctrico:

Encontrando una curva de crecimiento de acuerdo con los meses se observa el aumento significativo infiriendo que a mayor oferta energética esta implica mayor contratación empleados de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de contratación de 10% en 6.5

Millones de kW, con 50% con 7.1 Millones de kW y en 90% con valores de 7.9 Millones de kW (ver gráfico 31). La brecha de los valores se amplía en la siguiente tabla 32.

Tabla 32. Análisis de sensibilidad del margen del sistema eléctrico

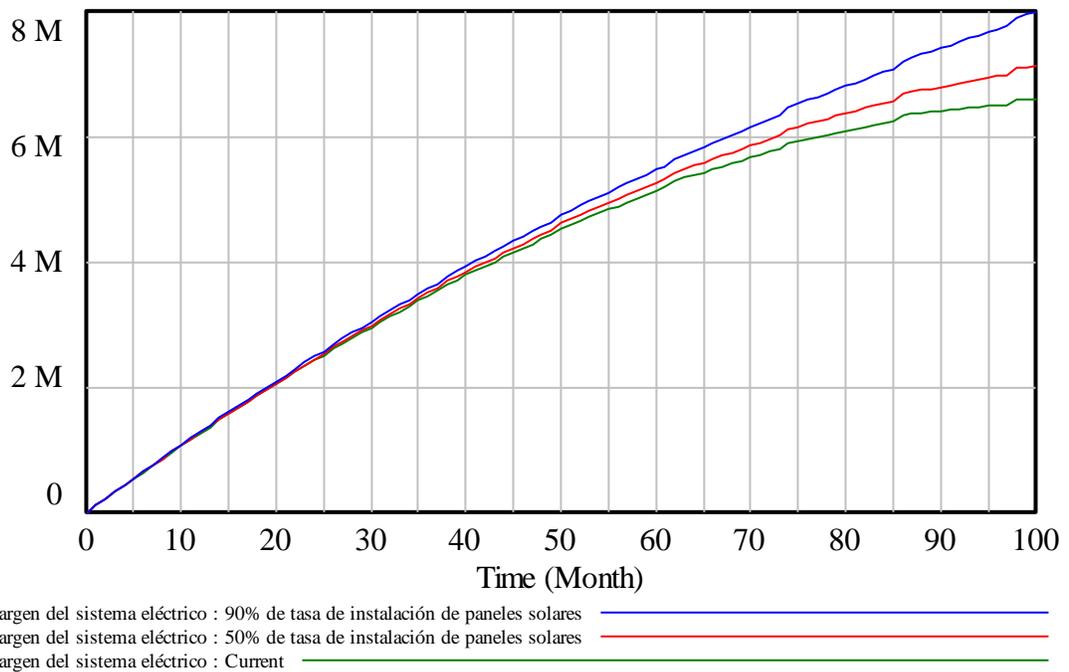
Margen del sistema eléctrico	Meses Resumidos										Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas	
	0	1	2	12	85	86	96	97	98	99					100
90% de tasa de instalación de paneles solares	0	105572	214294.484	1291864.5	7068530	7204484	7713454	7755251	7900377	7948432.5	7996488	451192133.1	23334600	4467248.84	231035.644
50% de tasa de instalación de paneles solares	0	105572	212894.484	1276464.5	6559730	6673684	6962654	6982451	7094877	7110232.5	7125588	427857533.1	14584152.8	4236213.2	144397.552
10% de tasa de instalación de paneles solares	0	105572	212019.484	1266839.5	6241729.5	6341933.5	6493403.5	6499450.5	6591439	6586357	6581275	413273380.4	413273380	4091815.65	4091815.65

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que cuando la oferta energética aumenta, la tasa de contratación aumenta así: 375433.2 kW más del promedio inicial del sistema si se aumenta la tasa a 90%, 144397.5 kW más del promedio inicial del sistema si se aumenta la tasa al 50% y 4091815 Millones de kW es el promedio inicial con una tasa de contratación del 10%.

Gráfico 31. Análisis de sensibilidad del margen del sistema eléctrico.

Margen del sistema eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de sensibilidad de las variables ambientales

El análisis de sensibilidad que se realiza simula nuevas tasas y porcentajes de acuerdo con el cambio positivo que se encuentre presente en el modelo. Para ello se harán modificaciones según su tasa inicial, incrementando para dos escenarios y mirando las consecuencias positivas y/o negativas que se puedan encontrar.

Primera sensibilización:

Para ver la sensibilidad de las variables ambientales, como son: Cantidad de residuos agrícolas. Se reduce entonces la tasa de porcentaje de residuos agrícolas para encontrar las fluctuaciones del modelo frente a este cambio, para ello se tiene en cuenta el valor inicial

Cantidad de residuos agrícolas

Encontrando fluctuaciones cada 12 meses se encuentra el aumento significativo de la cantidad de residuos agrícolas de acuerdo con el incremento del tiempo, encontrando entonces máximos con una tasa de residuos de 17% en 0.95 toneladas de residuos, con 10% 0.56 toneladas de residuos y en 5% con valores de 0.28 toneladas de residuos (ver gráfico 32). La brecha de los valores se amplía en la siguiente tabla 33.

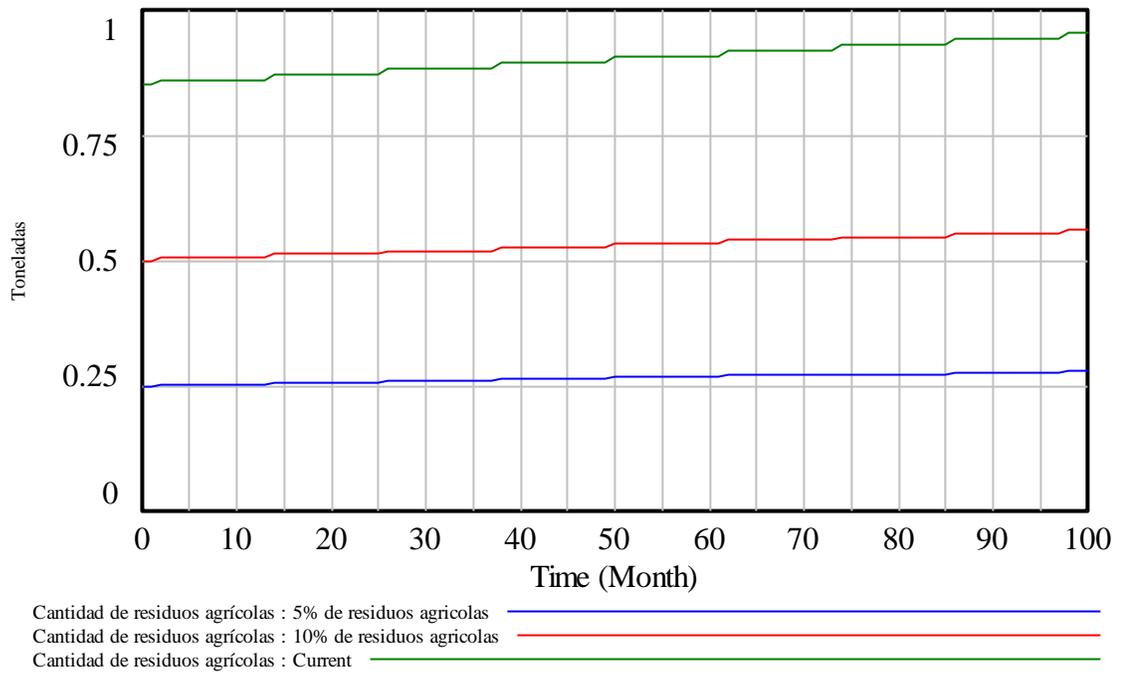
Tabla 33. Análisis de sensibilidad de la cantidad de residuos agrícolas

Agrícola	Meses Resumidos								Total de 100 meses	Brechas	Promedio de 100 meses	Brechas
	1	13	25	37	49	61	97	100				
5% Residuo agrícolas	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	27	64	0.27	0.64
10% Residuo agrícolas	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	54	38	0.53	0.37
17% Residuo agrícolas	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	10	91	91	0.90	0.90

Fuente: Elaboración propia.

Observando entonces que cuando la tasa de porcentaje de residuos agrícolas la cantidad de residuos agrícolas también reduce así: 0.64 Toneladas promedio del sistema si se reduce la tasa a 5%, 0.37 toneladas promedio del sistema si se reduce la tasa al 5% y 0.9 toneladas de residuos es el promedio inicial con una tasa de residuos del 17%.

Gráfico 32. Análisis de sensibilidad de la cantidad de residuos agrícolas.



Fuente: Elaboración propia.

9. CONCLUSIONES

Culminando entonces la simulación de este sistema bajo software VENSIM PLE, se tiene en cuenta la viabilidad de las diferentes fuentes de energía renovable. Ya que los resultados iniciales muestran el déficit de control y gestión de acuerdo con cada una de las dimensiones, en este caso, las variables sociales se benefician principalmente, ya que generaran mucho más empleo y beneficio a la población e industrias; lo anterior se articula directamente teniendo en cuenta los escenarios iniciales donde se encuentra un bajo potencial de los recursos utilizados para incrementar el uso energético y hacerlo de manera eficiente.

A su vez, es considerable notar que los procesos iniciales muestran resultados desfavorables; de acuerdo con la investigación, se prioriza el mejoramiento del sistema con la implementación gradual en tecnologías de generación de energía limpia en un periodo de 100 meses, donde se observa desde la dimensión ambiental del enfoque sostenible una disminución de 64 toneladas de residuos agrícolas, que normalmente se desperdician, indicando que se pueden utilizar para generar energía biomasa y esta pueda sustentar el uso energético. A su vez es considerable notar la disminución de la huella de carbono presente en el sistema. La cual inicialmente se estableció en 30.24 M de toneladas de CO₂ y con el uso de las alternativas paso a 18.28 M de toneladas de CO₂. Considerando una mejora del 60% (11.96 M Toneladas de CO₂).

Asimismo, desde la dimensión social, se observan los diferentes beneficios que trae la implementación de alternativas para la generación de energía eléctrica, se puede observar un aumento de 78 personas más al sistema comparadas con las 20 que se tenían inicialmente, infiriendo en la mayor contribución de personal y reducción de tasas de desempleo para la instalación y manutención de los procesos de obtención de energía sostenible, así mismo se tiene en cuenta el ingreso de industrias beneficiadas con las alternativas propuestas lo cual incrementarían 2570 industrias las cuales participan al desarrollo mundial de tecnologías sostenibles, considerando el incremento con 22 industrias anuales.

Desde la dimensión económica se observa un aumento considerable de la oferta de energía disponible catalogada en 8466 kW más que el promedio inicial, infiriendo en una mayor fuerza para el margen eléctrico del sistema y ampliando mejores y mayores utilidades, a su vez el margen del sistema eléctrico indica el impacto positivo en la curva de rendimiento con valor de 7.9M kW lo cual permite mayor utilización de energía en el sistema, corroborando un incremento de 375433.2 kW con respecto a valores iniciales, condecorando mayor capacidad de demanda energética y esto se cumple gracias a las alternativas de energía solar presente en el sistema, energía Biomasa y Aerogeneradores.

Los resultados de la simulación indican que la implementación de energía renovables tiene un impacto positivo en la comunidad tanto en el ámbito social, económico y ambiental, formulando un enfoque de sostenibilidad positivo e incrementando el desarrollo de la comunidad y sus necesidades energéticas.

10. REFERENCIAS

Acevedo Baquero, C. C. (2017). Diseño de un sistema de generación híbrida solar-diésel como alternativa de suministro eléctrico del municipio de Miraflores (Guaviare).

Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza editorial. P. 20.

Cabello Quiñones, A. M. (2006). Energías alternativas: Solución para el desarrollo sustentable.

Cárdenas, L. M., Franco, C. J., & Dyner, I. (2016). Assessing emissions-mitigation energy policy under integrated supply and demand analysis: the Colombian case. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3759-3773.

Castaneda, M., Franco, C. J., & Dyner, I. (2017). Evaluating the effect of technology transformation on the electricity utility industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 341-351.

Colombia, Ministerio de Minas y Energía (MME), Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) y Departamento de Planeación (DPN) (1999, 10 de noviembre), Documento CONPES 3055: Estrategias y acciones para la energización de las zonas no interconectadas del país, [en línea], disponible en: <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Biblioteca/Catálogoenlínea.aspx>.

Cortés, S., & Londoño, A. A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(38), 375-390.

Díaz, P., Peña, R., Arias, C. A., & Sandoval, D. (2010). Estudio de campo de la generación híbrida Diesel/renovable para electrificación rural. In *IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES)*, Cusco (pp. 1-5).

Edsall H.C. (2017) Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. *Technology in Society* 49.

Estudio Legal Hernández Abogados y Asociados. (2022). Marco Jurídico de las energías Renovables en Colombia. Recuperado de <https://estudiolegalhernandez.com/energia/marco-juridico-de-las-energias-renovables-en-colombia/>

Fernández, J. (2003). Energía de la biomasa. *Energías renovables para el desarrollo. Thomson-Paraninfo*, 2-20.

Franco, C. J., Castaneda, M., & Dyer, I. (2015). Simulating the new British electricity-market reform. *European Journal of Operational Research*, 245(1), 273-285.

Franco, C., Dyer, I., & Hoyos, S. (2008). Contribution of the energy at development of isolated communities in not interconnected zones: A case of application of the systems dynamics and sustainable livelihoods in the Colombian southwest. *Dyna*, 75(154), 199-214.

Garzón-Hidalgo, J. D., & Saavedra-Montes, A. J. (2017). Una metodología de diseño de micro redes para zonas no interconectadas de Colombia. *TecnoLógicas*, 20(39), 41-55.

Ghiasi, M., Esmailnamazi, S., Ghiasi, R., & Fathi, M. (2020). Role of renewable energy sources in evaluating technical and economic efficiency of power quality. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 5(1), 1-13.

González, E. J. P. (2022). SALVAR EL PLANETA, ES DEJAR DE EXPLOTAR LOS RECURSOS FÓSILES. ¿EL USO DE LAS BATERÍAS DE IONES DE LITIO SERÁ LA SOLUCIÓN? DESCÚBRELO....

Hoyos, S., Franco, C. J., & Dyner, I. (2017). Integration of Renewable Energies and its Impact on Electricity Price. *Ingeniería y Ciencia*, 13(26), 115-146.

IMCA (Instituto Mayor Campesino). (2020), Plan de vida 2019 – 2030, Vereda las Frías Municipio de Buga, Valle del Cauca.

Jiménez, M., Franco, C. J., & Dyner, I. (2016). Diffusion of renewable energy technologies: The need for policy in Colombia. *Energy*, 111, 818-829.

Juárez-Hernández, S., & León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del desarrollo*, 45(178), 139-162.

Jurado-Fuentes, E. E., & Gómez-Carvajal, J. U. (2021). Objetivos de desarrollo sostenible, fin de la pobreza en Colombia.

Mamaghani, A. H., Escandon, S. A. A., Najafi, B., Shirazi, A., & Rinaldi, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 97, 293-305.

Mejía, A. E., & Londoño, M. H. (2011). Sistemas de almacenamiento de energía y su aplicación en energías renovables. *Scientia et Technica*, 1(47), 12-16.

Mikati, M., Santos, M., & Armenta, C. (2012). Modelado y simulación de un sistema conjunto de energía solar y eólica para analizar su dependencia de la red eléctrica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 9(3), 267-281.

Moraleda Mendoza, J. (2013). Estudio de viabilidad de un parque eólico. Universidad Politécnica de Cartagena.

Olabi, A.G., Abdel Kareem, M.A. (2022) Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 158.

Ortiz, S. J., Paredes A. M. (2021) Evaluación sistémica de la implementación de un sistema de gestión de almacenes (WMS). *Revista UIS Ingenierías*. Vol. 20. N. 4. Pp. 145-160.

Pineda Zuluaga, C., Arrieta Córdoba, I., & Quitian Hernández, M. F. (2020). Generando oportunidades en la calidad de vida de los habitantes de Villa vieja en el departamento del Huila a través de energías renovables.

Poma, L. S. (2010). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. Informe de desarrollo humano. La verdadera riqueza de las naciones: Caminos al desarrollo humano. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2010. http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2010_ES_Complete.pdf. *Educación*, 19(37), 107-114.

Pupo, R. O., Campillo, J., Ingham, D., Hughes, K., & Pourkashanian, M. (2019). Large scale integration of renewable energy sources (RES) in the future Colombian energy system. *Energy*, 186, 115805.

Ramírez Flórez, G., Giraldo Correa, L. F., Tabares Urrea, N., & Osorio Gómez, J. C. (2017). Simulación dinámica de una alternativa de generación de energía a partir de residuos. *Revista electrónica editada por la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la UJTL*. Vol. 7 (1) pp. 67-77

Ramos, R. Sánchez, C. Mota, D. Sandoval, F. García, J. (2021) Evaluation of bioenergy potential from coffee pulp trough System Dynamics. *Renewable Energy* 165. Pp. 863-877.

Robledo Velásquez, J., & Ceballos, Y. F. (2008). Study of an innovation process using system dynamics. *Cuadernos de Administración*, 21(35), 127-159.

Sagastume, G. A., Morejón, M. B., Eras, J. J. C., Ulloa, M. C., Martínez, F. J. R., & Rueda-Bayona, J. G. (2020). Data supporting the forecast of electricity generation capacity from non-conventional renewable energy sources in Colombia. *Data in brief*, 28, 104949.

Schallenberg Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., & Unamunzaga Falcón, P. (2008). Energías renovables y eficiencia energética.

Simpson, J., Loth, E., & Dykes, K. (2020). Cost of Valued Energy for design of renewable energy systems. *Renewable Energy*, 153, 290-300.

Sueyoshi, T., Mo, F., & Wang, D. D. (2022). Sustainable development of countries all over the world and the impact of renewable energy. *Renewable Energy*, 184, 320-331.

Tobón Abello, A. H., Lugo Arias, J. L., Lugo Arias, E. R., Ovallos, D., Burgos Vergara, J., Lugo Arias, N., ... & Redondo Salas, A. (2020). Gestión ambiental para la implementación de Biodigestores Anaeróbicos. Reductores de residuos contaminantes en el medioambiente de los departamentos de la Región Norte y Central de Colombia.

UPME, U. (2015). Ministerio de Minas y Energía. Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2008-2022, 188

Valencia Plaza, J. A., Lucano Mafla, L. S., Ortega Palacios, F. G., Sarria Navarro, E., Yepes, C. M., & González Moreno, A. M. (2021). Propuesta para el proyecto energético en la Institución Etnoeducativa Rural Internado de Nazareth. *Revista Sapiéntia*, 11(21), 6–19.
<https://doi.org/10.54278/sapiencia.v11i21.45>

Wiser, R. H., & Bolinger, M. (2019). 2018 wind technologies market report.

Zuluaga, M. M., & Dyner, I. (2007). Incentives for renewable energy in reformed Latin-American electricity markets: the Colombian case. *Journal of cleaner Production*, 15(2), 153-162.