



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TESINA FIN DE MÁSTER EN TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE.

**“ESTUDIO DEL POTENCIAL DE LOS
SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES PARA
INCREMENTAR EL GRADO DE
ELECTRIFICACIÓN EN LA REPÚBLICA
DEMOCRÁTICA DEL CONGO (RDC) DE
UNA MANERA SOSTENIBLE”**

AUTOR: RUBÉN BAÑÓN MEDINA

TUTORA: ELISA PEÑALVO LÓPEZ

Curso académico: 2016-2017

AGRADECIMIENTOS.

A mi familia, mis padres, abuelos y hermanos que han resistido mis enfados durante y mis “más y mis menos” durante este periodo académico que culmina con este máster porque sin el apoyo de ellos esto no podría haber sido posible.

A mi novia, que tantos momentos difíciles ha soportado y de la que tanto apoyo moral he recibido.

RESUMEN

El presente trabajo trata la situación energética actual de la República Democrática del Congo, (RDC), identificándose las deficiencias energéticas presentes en el país y falta de acceso a la electricidad por parte de la población, analizando además la situación energética en cada una de las regiones y oportunidades energéticas renovables en cada una de las mismas.

Se realiza un escenario tendencial en el que se muestra la situación energética futura de la RDC sin realizar medidas acordes a un desarrollo sostenible y de acceso a la electricidad, comparándose con un escenario futuro en el que se contemplen medidas de electrificación y generación de electricidad basada en energías renovables en el país.

Una vez identificadas las oportunidades energéticas de cada región se han identificado los sistemas híbridos renovables como potenciales soluciones de acceso a la electricidad para la mayoría de las regiones rurales de la RDC, que todavía no cuentan con redes de electrificación. Posteriormente se realizan simulaciones energéticas de sistemas híbridos renovables con distintas tecnologías que se encuentran en consonancia con las oportunidades energéticas de cada región, así como tipo de actividad económica de la zona.

Se ha comparado las distintas simulaciones analizándose los datos obtenidos y viendo cual es la mejor configuración para cada situación y cada región, sentando así las bases para el desarrollo energético de estas regiones y el acceso a la electricidad de las mismas.

En conclusión, se mostrará como los sistemas híbridos renovables son una opción fiable para el desarrollo y se realiza la simulación de varios.

Palabras clave: Sistema híbrido renovable, Electrificación, Escenario BAU, escenario Futuro, HOMER, zona aislada, zonas rurales y/o remotas

ABSTRACT

This thesis deals with the current energy situation of the Democratic Republic of Congo, identifying the energy deficiencies present in the country and lack of access to electricity by the population. In this way, the energy situation and renewable energy opportunities in each of the regions is identified.

A Business As Usual scenario is made to see the future energy situation of the RDC without realizing measures in line with sustainable development and access to electricity, compared to a Sustainable scenario in which electrification rate is increased based on renewable generation.

Once the energy opportunities of each region have been identified, configurations of renewable hybrid systems have been analyzed as potential solutions for rural electrification in RDC. Subsequently there have been several energy simulations of renewable hybrid systems with different technologies that are in line with the energy opportunities of each region as well as their type of economic activity.

Different simulations are compared analyzing the data obtained and seeing which is the best configuration for each situation and each region, thus laying the basis for the energy development of these regions based on increasing its electrification rate.

In conclusion it will be shown how renewable hybrid systems are a reliable option for a sustainable development analyzing several alternatives.

Key Words: Renewable hybrid systems, Electrification, BAU Stage, Future Stage, Homer, Isolated area, rural area, remote area

INDICE GENERAL TRABAJO FIN DE MÁSTER

- **Contexto Energético Internacional y en la República Democrática del Congo.**

- **Parte 1: Análisis Macro-Energético**

- **Parte 2: Análisis Micro-Energético**



Índice General

1.	CONTEXTO ENERGÉTICO	15
1.1.	Problemática energética y medioambiental	15
1.2.	Situación actual energética internacional.....	16
1.3.	Situación actual energética en la República Democrática del Congo.....	18
1.4.	Oportunidades energéticas en la República Democrática del Congo.....	29
2.	ANÁLISIS MACRO ENERGÉTICO EN LA REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO.....	41
2.1.	Escenario Business As Usual (BAU).....	41
2.1.1.	Escenario BAU en la RDC	42
2.2.	Escenario Exploratorio basado en Renovables.....	52
2.2.1.	Escenario futuro basado en renovables en la RDC.....	53
2.3.	Conclusiones energéticas.....	62
3.	ANÁLISIS MICRO-ENERGÉTICO EN LA REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO.....	67
3.1.	Consideraciones previas.....	67
3.2.	Simulaciones.....	70
3.2.1.	Regiones tipo 1.....	70
3.2.2.	Regiones tipo 2.....	78
3.2.3.	Regiones tipo 3.....	86
3.2.4.	Regiones tipo 4.....	95
3.3.	Resultados Obtenidos por Región.....	104
4.	CONCLUSIONES.....	109
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	ANEXO 1: Tecnología utilizada	112

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Curva de carga diaria en HOMER de la ciudad de Bagata	72
Ilustración 2: Recursos hídricos en el Río cercano a Bagata	73
Ilustración 3: Recurso solar en la ciudad de Bagata	73
Ilustración 4: Cantidad de biomasa necesaria para la instalación	74
Ilustración 5: Entrada en descarga de baterías en Bagata por meses	77
Ilustración 6: Curva de carga diaria de la ciudad de Ibanga en HOMER	80
Ilustración 7: Recursos hídricos en la ciudad de Ibanga	81
Ilustración 8: Recurso solar en la ciudad de Ibanga	82
Ilustración 9: Disponibilidad de biomasa en la ciudad de Ibanga	83
Ilustración 10: Entrada de generadores por meses en Ibanga	86
Ilustración 11: Entrada de baterías por meses en Ibanga	86
Ilustración 12: Curva de carga diaria de la instalación en Homer en Mutoto	88
Ilustración 13: Recursos hídricos en Mutoto	89
Ilustración 14: Recurso solar en Mutoto	90
Ilustración 15: Necesidades de biomasa para generadores en Mutoto	91
Ilustración 16: Entrada del generador en Mutoto por meses	94
Ilustración 17: Entrada de las baterías por meses en Mutoto	95
Ilustración 18: Curva de carga diaria de la instalación de Musokatanda	97
Ilustración 19: Curva de carga diaria en HOMER de Musokatanda	98
Ilustración 20: Recursos hídricos en la villa de Musokatanda	99
Ilustración 21: Recursos solares en la villa de Musokatanda	99
Ilustración 22: Disponibilidad de biomasa necesaria para la instalación en Musokatanda	100
Ilustración 23: Inversión inicial por tecnología en Musokatanda	101
Ilustración 24: Imagen del generador de 150 Kw	113

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Uso de energía primaria por fuente de energía	20
Gráfico 2: Fuentes de generación eléctrica.....	21
Gráfico 3: Consumo de energía final por fuentes de energía	22
Gráfico 4: Consumo de energía final por sectores económicos.....	22
Gráfico 5: Consumo de energía final en la industria	23
Gráfico 6: Consumo energético final en el sector transporte.....	23
Gráfico 7: Consumo energético final en el sector residencial.....	24
Gráfico 8: Consumo energético final en el sector servicios	24
Gráfico 9: Uso de energía primaria por fuente de energía en España.....	25
Gráfico 10: Generación de energía eléctrica en España.	26
Gráfico 11: Consumo de energía final por sectores en España	26
Gráfico 12: Potencial solar en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.....	31
Gráfico 13: Potencial eólico en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC... ..	32
Gráfico 14: Potencial hidráulico en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.	33
Gráfico 15: Potencial energético de la biomasa en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.....	34
Gráfico 16: Potencial energético de biogás proveniente de residuos animales, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.	35
Gráfico 17: Evolución de consumo de energía final por sectores hasta el año 2014	43
Gráfico 18: Ritmos de crecimiento de la población y el PIB	45
Gráfico 19: Intensidad energética primaria	45
Gráfico 20: Evolución de la demanda de energía primaria en el escenario BAU.....	49
Gráfico 21: Evolución en la generación de electricidad en el Escenario BAU.....	50
Gráfico 22: Evolución de la demanda de electricidad en el Escenario BAU.....	50
Gráfico 23: Evolución de emisiones de CO2 por sectores en E.BAU.....	51
Gráfico 24: Demanda de energía primaria en un escenario futuro	58
Gráfico 25: Demanda de electricidad en un escenario Futuro	58
Gráfico 26: Demanda de electricidad por sectores.....	59
Gráfico 27: Generación de electricidad en un escenario futuro	60
Gráfico 28: Emisiones de CO2	60
Gráfico 29: Emisiones de CO2 por sectores en un escenario futuro	61
Gráfico 30: Evolución de indicadores en un escenario futuro	61
Gráfico 31: Comparación Generación de electricidad BAU y Futuro.....	64
Gráfico 32: Comparación demanda de electricidad por sectores BAU y Futuro	65
Gráfico 33: Curva de carga diaria de la ciudad de Bagata.....	71
Gráfico 34: Costes de generación por tecnología en Bagata	76
Gráfico 35: Distribución de generación eléctrica por tecnología.....	77
Gráfico 36: Curva de carga diaria de la ciudad de Ibanga	80
Gráfico 37: Costes de inversión por tecnología.	84
Gráfico 38: Distribución de costes por tecnología en la ciudad de Ibanga	85
Gráfico 39: Distribución de generación eléctrica por tecnología en Ibanga.....	85
Gráfico 40: Curva de carga diaria de la instalación	88
Gráfico 41: Inversión inicial por tecnología en Mutoto	92
Gráfico 42: Distribución Costes por tipo de tecnología en Mutoto	93

Gráfico 43: Distribución de Costes de generación por tipo de tecnología en Musokatanda ...	102
Gráfico 44: Distribución de generación eléctrica por tecnología en Musokatanda	103
Gráfico 45: % Generación Hidroeléctrica por regiones.....	105
Gráfico 46: % Generación solar fotovoltaica por regiones	105
Gráfico 47: % Generación Biomasa por regiones.....	106
Gráfico 48: % Generación Baterías por regiones	106
Gráfico 49: Exceso Electricidad Por regiones	107
Gráfico 50: Generación eólica por regiones en la RDC	107
Gráfico 51: Ratio de emisiones de CO2 por regiones	108
Gráfico 52: Curva de potencias en función de la velocidad del viento para Bornay 6.000	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Energía primaria en la República Democrática del Congo	20
Tabla 2: Energía final en la República Democrática del Congo	21
Tabla 3: Consumos energéticos por sectores y año en la RDC, Fuente: Agencia Internacional de la Energía, Web	43
Tabla 4: Ritmos de crecimiento en los sectores económicos para el E.BAU	46
Tabla 5: Datos de consumo energético para el año 2014 por sectores.....	47
Tabla 6: Resumen situación energética para el año 2014	47
Tabla 7: Ritmos anuales de crecimiento de los sectores hasta el año 2017.....	47
Tabla 8: Situación energética por sectores en el año 2017 en E.BAU	48
Tabla 9: Situación energética en E.BAU en el año 2017	48
Tabla 10: Datos de consumo energético para el año 2014 por sectores.....	54
Tabla 11: Resumen situación energética para el año 2014	54
Tabla 12: Ritmos anuales de crecimiento de los sectores hasta el año 2015.....	54
Tabla 13: Características para el año 2.015	56
Tabla 14: Situación año 2.035 en un Escenario Futuro.....	57
Tabla 15: Demanda de electricidad en un escenario Futuro	58
Tabla 16: Demanda de electricidad por sectores.....	59
Tabla 17: Generación de electricidad en un escenario Futuro	59
Tabla 18: Emisiones de CO2	60
Tabla 19: Emisiones de CO2 por sectores en un escenario futuro	61
Tabla 20: Características ciudad de Bagata.....	70
Tabla 21: Demanda de potencia a nivel industrial en Bagata.....	71
Tabla 22: Resumen de costes de la instalación sistemas híbridos en Bagata.....	76
Tabla 23: Energía producida por tecnología	76
Tabla 24: Resumen costes de generación con mayor cantidad de baterías.....	78
Tabla 25: Características ciudad de Ibangá	79
Tabla 26: Demandas de potencia a nivel industrial en la ciudad de Ibangá	79
Tabla 27: Resumen de costes de instalación en la ciudad de Ibangá	84
Tabla 28: Generación eléctrica por tecnología.	85
Tabla 29: Características de la villa de Mutoto	87
Tabla 30: Potencia demandada a nivel industrial en la villa de Mutoto.....	87
Tabla 31: Resumen costes de tecnología en la instalación de Mutoto.....	93
Tabla 32: Generación eléctrica por tecnología en Mutoto.	93
Tabla 33: Distribución de generación eléctrica por tecnología en Mutoto	94
Tabla 34: Resumen costes instalación con instalación de mayor cantidad de baterías en Mutoto	95
Tabla 35: Características de la villa de Musokatanda	96
Tabla 36: Demandas de potencia a nivel industrial en la villa de Musokatanda	97
Tabla 37: Resumen costes de generación en Musokatanda.....	102
Tabla 38: Generación eléctrica por tecnología en Musokatanda	102
Tabla 39: % de generación por tecnología en cada una de las regiones	104
Tabla 40: Resumen resultados energéticos de los sistemas híbridos renovables	108
Tabla 41: Características de consumo del generador	113

1. CONTEXTO ENERGÉTICO

1.1. Problemática energética y medioambiental

Según estudios realizados por la agencia Internacional de la energía, el consumo energético se incrementaría un 50 % en los próximos 25 años, lo que provocaría un mayor aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, en base a la información recogida en el World Energy Outlook, “Perspectivas de la energía en el mundo” publicado en el año 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, IEA).

La Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado a finales del 2007, comenta que este escenario tendencial nos llevaría a un incremento de las temperaturas de más de 6°C a finales de este siglo. De ahí la importancia de un cambio en la tendencia actual de consumo energético en todos los ámbitos. No solamente es necesario un uso responsable de la energía que pueda regular esta evolución ascendente de consumo, si no también, la transición hacia formas de generación eléctrica más respetuosas con el medio ambiente, entrando en este juego las renovables que será uno de los primeros ejercicios con el que la sociedad debe responsabilizarse.

Actualmente la sociedad está experimentando un cambio climático debido en gran parte a los gases de efecto invernadero (GHG), entre los que se encuentran el CO₂, los NO_x, SO₂, CH₄, etc. A lo largo de los últimos años, el nivel de estos GHG mantiene una tendencia ascendente que podrían traer consigo como bien se ha comentado el aumento de temperatura del planeta, desertización, deshielos etc, por lo que es conveniente reducir esta contaminación, así como estos niveles de gases de efecto invernadero.

Dentro de este contexto, se observa que si no se realizan cambios en las políticas energéticas actuales se producirán una multitud de impactos medioambientales como el agotamiento de recursos naturales, acidificación (lluvia ácida), eutrofización de las aguas, contaminación urbana debido al smog fotoquímico, emisiones tóxicas o contaminación radioactiva entre otras.

Estudios de la NASA demuestran que los niveles de CO₂ en la atmósfera se encuentran más altos que nunca respecto a los últimos 400.000 años con niveles que llegan a las 400 partes por millón de partículas. De este modo si no se llevan a cabo políticas encaminadas a la reducción de la emisión de estos gases de efecto invernadero las temperaturas del planeta para el año 2100 podrían incrementarse en hasta 6°C como bien se ha comentado, y además la precipitación en ciertas zonas se reducirían en hasta un 30% incurriendo en la desertificación de estas zonas. Si se llevan a cabo políticas a favor de la sostenibilidad energética en los distintos países se podría limitar el aumento de temperatura a tan solo 2°C.

Teniendo como objetivo la reducción de las emisiones de CO₂ eq. a la atmósfera, el presente trabajo plantea el análisis de varios escenarios energéticos que permitan

estudiar a largo plazo el impacto en la sostenibilidad energética en el contexto energético de los países, entendiendo por desarrollo sostenible el satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.. Algunos de los escenarios que se podrían proponer son:

- Generación energética central con dos tipos de energía primaria (Nuclear y Renovables), ambas con una contribución del 50%.
- Electricidad como forma dominante de energía final.
- Implantación de recursos energéticos distribuidos
- Participación activa de la demanda en el mercado energético.
- Hidrógeno como vector energético tanto en la generación de electricidad, así como en usos residenciales, comerciales y el transporte.

1.2. Situación actual energética internacional

En este sentido, ante todo lo expuesto en el punto anterior, los países en vías de desarrollo juegan un papel fundamental en la sostenibilidad del planeta debido a su continuo crecimiento económico, y las continuas necesidades eléctricas con las que cuentan.

Para entender la importancia de la presencia de las energías renovables en el desarrollo sostenible se procede a explicar la situación energética a nivel internacional.

Tal y como se comenta en la comunidad científica, existe un problema energético claro y visible debido a que se están produciendo los siguientes ítems:

- Aumento cuasi-exponencial de la demanda
- Limitadas reservas de fuentes de energía primaria y de sistemas para su elaboración a energía final.
- Dichas reservas se encuentran altamente concentradas en zonas políticamente inestables
- Creciente impacto ambiental tanto en la generación de energía como en el transporte.

La demanda de energía está creciendo de una forma continuada, especialmente en los países en vías de desarrollo. A pesar de las políticas de ahorro y mejora de la eficiencia energética esta demanda energética sigue aumentando considerablemente.

En los países desarrollados se han establecido políticas encaminadas al ahorro energético para atenuar el ritmo de crecimiento de energía. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo este crecimiento de la demanda es claro. Es, por lo tanto, importante definir un desarrollo energético sostenible en estos países que minimice el impacto medioambiental de su desarrollo.

En el año 2014, la mitad de las nuevas instalaciones de generación eléctrica en el mundo, han sido de origen renovable y se han desarrollado políticas energéticas en materia de eficiencia energética, que ha permitido que los datos de 2014 registren un indicio de una disociación entre las emisiones de CO₂ y la actividad económica, en base a la información recogido en el World Energy Outlook, “Perspectivas de la energía en el mundo” publicado en el año 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, IEA).

Concretamente China continúa siendo el mayor productor y consumidor de carbón de todo el mundo. Según las expectativas, para el año 2030, superará a Estados Unidos como mayor consumidor de petróleo y tendrá un mercado de gas natural mayor al de Europa, en base a la información recogida en el World Energy Outlook, “Perspectivas de la energía en el mundo” publicado en el año 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, IEA). Desvincular la actividad económica de las emisiones de CO₂ supone un trabajo de vigilancia y compromiso de satisfacer las necesidades energéticas de los países en vías de desarrollo de una manera fiable y respetuosa con el medio ambiente.

En el último encuentro “la cumbre sobre el clima de las Naciones Unidas (también conocida como COP21) de París”, los países han aunado sus fuerzas para afrontar este gran desafío. En esta cumbre se pretendía lograr un acuerdo mundial con el objetivo principal de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de los problemas energéticos mundiales ya mencionados. Finalmente se alcanzó un acuerdo histórico que jurídicamente será vinculante si al menos 55 países que representen al menos el 55% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero firman el pacto. El acuerdo se aplicará a partir del año 2020 y se llevarán a cabo las medidas oportunas para evitar que el calentamiento global sobrepase la temperatura de los 2°C en 2100 según los objetivos planteados en el pacto.

La reducción de emisiones de CO₂ relativas al sector energético se puede analizar básicamente analizando la oferta y la demanda de energía.

Por el lado de la oferta de energía, el principal factor que se debe analizar es la situación de los yacimientos de las fuentes de energía primaria. La mayor parte de estas fuentes, especialmente las que más se demandan en la industria y en el sector residencial son el carbón y derivados, gas natural y petróleo, los cuales se encuentran ubicadas en países en conflicto.

En cuanto al contexto energético del petróleo tenemos que:

- a) Las reservas probadas existentes se cifran en 1300*10³ millones de barriles de petróleo
- b) Existe una producción mundial de 85 millones de barriles / día
- c) Debido a ello las reservas probadas se cifran en 41 años
- d) El 95 % de las reservas probadas están repartidas solamente entre 20 países y además estos países se encuentran en regiones conflictivas como puede ser Oriente Medio, y ahora todavía más con el creciente yihadismo.

Esto provoca continuos conflictos entre países observándose un abuso de poder de aquellos países con reservas de petróleo.

En el gas natural se observa una situación parecida, ya que la distribución de las reservas de gas natural también están poco repartidas entre los países. Las áreas económicas con mayor producción de gas natural son América del Norte y la antigua URSS. Las reservas mundiales de gas se cifran en 175.78 miles de bcm. Si consideramos que la población mundial va en aumento, según estudios realizados por la Unión Europea (UE) en un 50 % en los próximos 50 años, es necesario buscar soluciones energéticas alternativas.

Si a estas reservas, añadimos que Es conveniente que la conciencia por la mejora en la eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables en todos los ámbitos esté presente. Es de interés de la sociedad en general promover la reducción del consumo en la

medida de lo posible y abastecer la demanda requerida con fuentes energéticas respetuosas con el medioambiente, no solo por lograr una emisión de gases contaminantes menor, sino también en el aumento de la competitividad y calidad de vida.

Debido a estos factores la presencia de las energías renovables, cuyos recursos se encuentran presentes en la totalidad de los países tanto desarrollados como en vías de desarrollo, son un factor clave en el desarrollo de la humanidad para combatir, entre otras cosas, el cambio climático como factor más importante. Así mismo, el incremento de las energías renovables dentro del contexto energético de los países permitirá reducir la dependencia energética. En el caso de países en vías de desarrollo, como la República Democrática del Congo, la introducción de energías renovables en el contexto energético del país permitirá aumentar el ratio de electrificación de una manera sostenible e independiente.

Las energías renovables son una solución al impacto ambiental porque son energías limpias, libres de emisiones, aprovechan recursos naturales generados prácticamente en su totalidad, bien de forma directa o indirecta por el sol, salvo el caso de la energía generada a través de los Residuos sólidos urbanos (R.S.U.) o la mareomotriz y geotérmica, y además se están generando de forma continuada, es decir, no hay unas reservas agotables como el caso de los combustibles fósiles. Actualmente a nivel mundial, el 85% de la energía primaria se basa en combustibles fósiles, mientras que las renovables solo suponen un 9% del total, demostrando así el gran trabajo que queda por hacer. Además, estas energías pueden ser obtenidas in situ en el país, ayudando de este modo a no tener una dependencia energética exterior como ha sido nombrado anteriormente, que puede causar conflictos internacionales, como está ocurriendo actualmente con el petróleo, donde cada país intenta mirar por sus intereses de exportación generando conflictos.

En conclusión, las energías renovables suponen una fuente inagotable de energía con escaso o nulo impacto ambiental. Es por ello que las energías renovables serán un elemento esencial en la consecución de la sostenibilidad energética, tanto de los países en vías de desarrollo como los países desarrollados. Los países desarrollados deberán realizar una transición energética hacia nuevos modelos energéticos y nuevos modelos de generación de energía, mientras que los países en vías de desarrollo deberán crear este nuevo modelo energético basado en las renovables, que asegure la sostenibilidad energética del país, tanto medioambiental como económicamente.

1.3. Situación actual energética en la República Democrática del Congo.

La República Democrática del Congo tiene un potencial en energías renovables muy amplio, dependiendo de los territorios en los que se haga uso de la energía. El Gobierno de este país quiere realizar unos grandes esfuerzos en tratar de satisfacer las necesidades energéticas de todo el país, porque es conocedor del problema al que se enfrenta el país si no hace llegar la electricidad a la población. En la actualidad, se están llevando a cabo medidas de remodelación de las centrales hidroeléctricas y térmicas existentes, ya que estas están trabajando por debajo del 50% de sus posibilidades. Estas centrales requieren un

mantenimiento y en ciertas ocasiones, partes de las instalaciones se averían y no se lleva a cabo el arreglo pertinente abandonando las centrales a su suerte. Así mismo, también se están desarrollando nuevas centrales hidroeléctricas en nuevos sitios con recursos hídricos todavía sin explotar. Con estos hechos se espera conseguir para el año 2020 una tasa de electrificación del 16 %, aumentando un 7 % la electrificación, frente al 9 % global actual.

El problema reside que hasta la actualidad estas grandes centrales de generación eléctrica únicamente se limitan a dar suministro de electricidad a las grandes ciudades y grandes empresas o mineras, dejando de este modo relegado del acceso de la electricidad a gran parte de la población que no vive en grandes ciudades. Esto hace como se va a mostrar a continuación que en la mayoría de los distritos la tasa de electrificación sea muy baja.

Es por ello que en la RDC se ha creado un programa llamado “programa pueblos modernos”, que tiene como objetivo principal, electrificar una gran parte de las pequeñas villas que presenta este país, para hacer llegar la electricidad a las mismas y lograr los beneficios directos de este tipo de energía.

De este modo se deduce que en la RDC hay una centralización muy grande de la energía eléctrica en grandes centrales, que dan servicio a los principales motores económicos de enriquecimiento de las arcas del estado como son las mineras o las principales ciudades.

Ante esta situación, hay una dependencia muy grande de la biomasa forestal, cerca del 95 %, ya que la población busca utilizar la madera para cocinar, iluminar sus hogares y calentarlos, llevando año a año una inquietante deforestación y degradación de los ecosistemas forestales del país, incrementando también el efecto invernadero del país, al reducirse la cantidad de vegetación.

El presente proyecto está encaminado a la consecución del dimensionado de un sistema híbrido renovable que sirva de ejemplo para zonas aisladas de la República Democrática del Congo, haciendo frente así a la escasez energética que ayuden así al acceso a la electricidad y el progreso de las zonas más aisladas de este país. Ya se ha visto en los puntos anteriores la importancia de las energías renovables, y ante todo en un país como el del presente objeto de estudio, que tiene una muy poca electrificación y ha de producir un gran desarrollo energéticamente hablando. Habrá que hacer primeramente una introducción a la situación energética actual de la República Democrática del Congo para comprender la instalación de las energías renovables, sobre todo en zonas aisladas como punto fuerte en la consecución de los hitos.

Según los datos recogidos de la Agencia Internacional de la Energía, la situación energética del país se resume en las siguientes tablas.

R.D. Congo 2014											
ITEMS	Carbón	Petróleo	Productos Petrolíferos	Gas Natural	Nuclear	Hidro	Geotermia, Solar, etc	Biofuel y residuos	Electricidad	Calor	TOTAL
Producción	0	1.068	0	0	0	759	0	26.330	0	0	28.157
Importación	0	0	1.778	2	0	0	0	0	98	0	1.878
Exportación	0	-1.068	0	0	0	0	0	0	-6	0	-1.074
Bunkers Marinos Internacionales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bunkers Aviáticos internacionales	0	0	-241	0	0	0	0	0	0	0	-241
Modificaciones de Stock	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TPES	0	0	1.537	2	0	759	0	26.330	679	0	28.720

Tabla 1: Energía primaria en la República Democrática del Congo

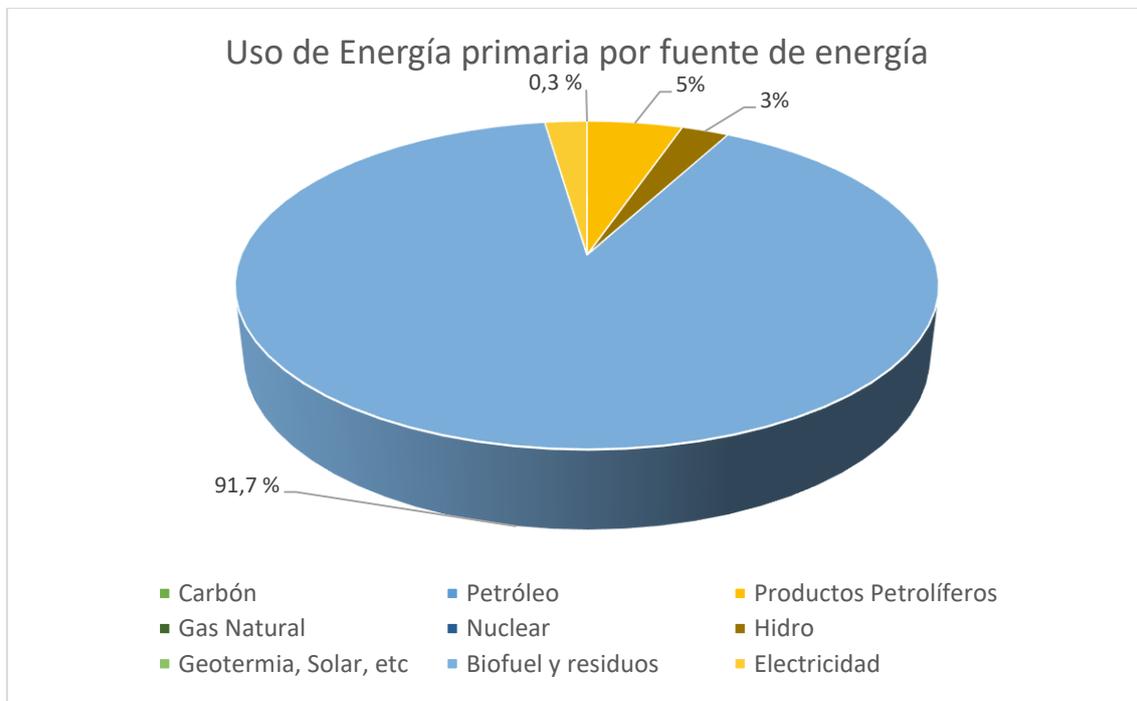


Gráfico 1: Uso de energía primaria por fuente de energía

En este gráfico puede deducirse todo lo que se ha comentado anteriormente. Puede verse como la biomasa y los residuos agrícolas son los predominantes en el uso de energía, con un 91,7 % del total, frente al 5 % que representan los productos petrolíferos, el 3 % de la energía hidroeléctrica y el 0,3 % de la energía eléctrica. Cabe comentar que ese 0,3 % de electricidad se debe a las importaciones. La generación restante se consigue prácticamente en su totalidad con el 3 % que representa la energía hidroeléctrica.

La población hace uso pues de la madera y leña que pueden encontrar en los bosques, así como los residuos agrícolas, para poder satisfacer sus necesidades debido a la enorme falta de energía eléctrica. En el siguiente gráfico puede verse que fuentes de energía intervienen en la generación de electricidad.

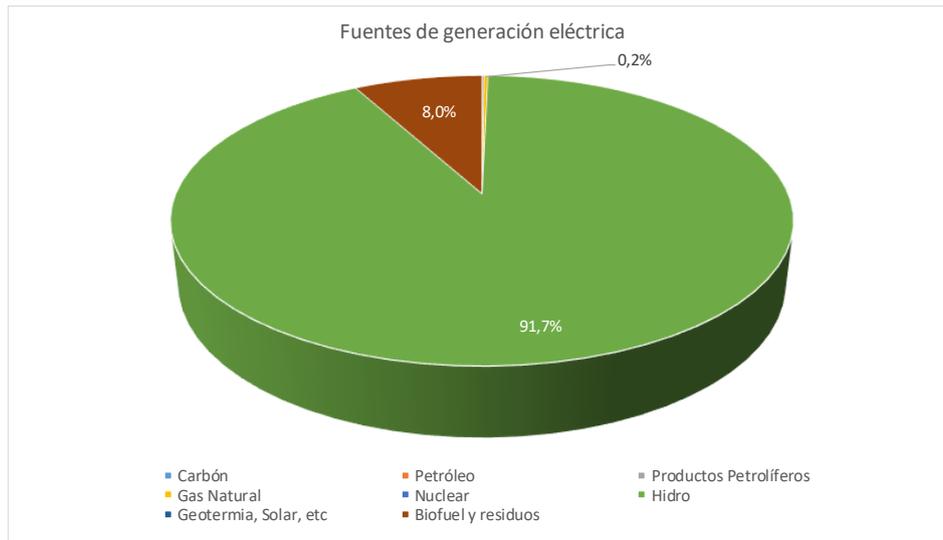


Gráfico 2: Fuentes de generación eléctrica

Tal y como se ve en el gráfico anterior y se ha comentado en puntos anteriores, la generación de electricidad se limita a la energía hidroeléctrica, que representa el 91,7 %, frente al 8 % generado por medio de biomasa y residuos agrícolas.

De aquí se deduce que la electricidad es una fuente de energía totalmente minoritaria en la RDC, ya que como puede verse en el gráfico anterior el 91,7 % de la energía primaria del país proviene de la biomasa, que solo representa el 8 % en la generación eléctrica. Esto explicaría los altos déficits de electricidad en la población y la escasa electrificación del país.

En la siguiente tabla puede verse el consumo de energía final por cada uno de los sectores.

R.D. Congo 2014											
ITEMS	Carbón	Petróleo	Productos Petrolíferos	Gas Natural	Nuclear	Hidro	Geotermia, Solar, etc	Biofuel y residuos	Electricidad	Calor	TOTAL
Industria	0	0	39	0	0	0	0	2.958	373	0	3.370
Transporte	0	0	1.490	0	0	0	0	0	0	0	1.490
Residencial	0	0	3	0	0	0	0	16.340	237	0	16.580
Comercial y Servicios	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	69
Agricultura y Forestal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pesca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso no energético	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5
CONSUMO FINAL	0	0	1.537	0	0	0	0	19.298	679	0	21.514

Tabla 2: Energía final en la República Democrática del Congo

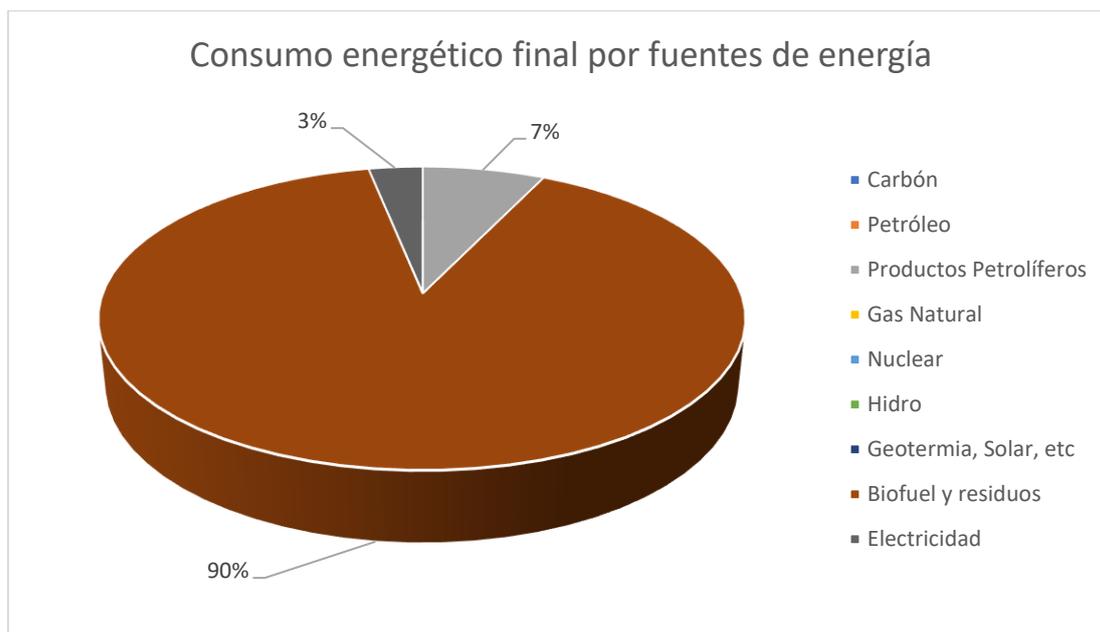


Gráfico 3: Consumo de energía final por fuentes de energía

Como puede verse en el anterior gráfico, la electricidad únicamente representa el 3 % del consumo energético total del país, frente al 90 % que supone la biomasa, biocombustibles y residuos agrícolas, junto con el 7 % de los productos derivados del petróleo, siguiendo así en la tónica anterior. Puede verse, que de todas las fuentes disponibles únicamente se utilizan 3.

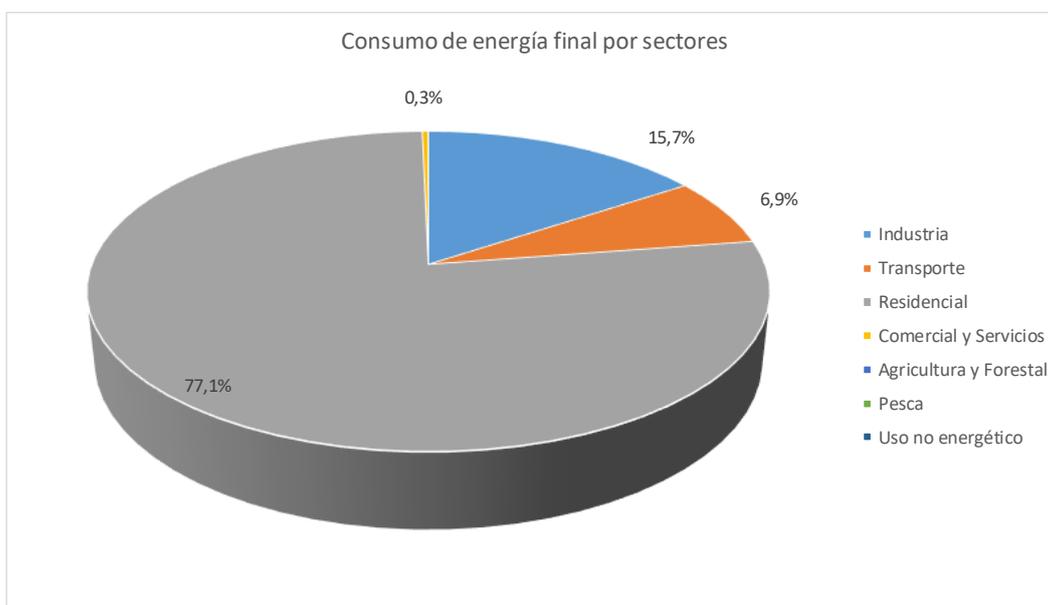


Gráfico 4: Consumo de energía final por sectores económicos

Es el sector residencial el que más consumo energético final aglutina, con un 15,7 %, básicamente debido a la gran cantidad de biomasa quemada en el día a día para la producción

de agua caliente, calefacción, estufas, etc. La industria representa el 15,7 % del consumo energético final en gran parte también al consumo de biomasa y residuos agrícolas. Con un 7 % se encuentra el sector del transporte y finalmente el sector servicios con un solo 0,3 %. Si se realiza el desglose por sectores económicos se tienen los siguientes resultados.

- INDUSTRIA:

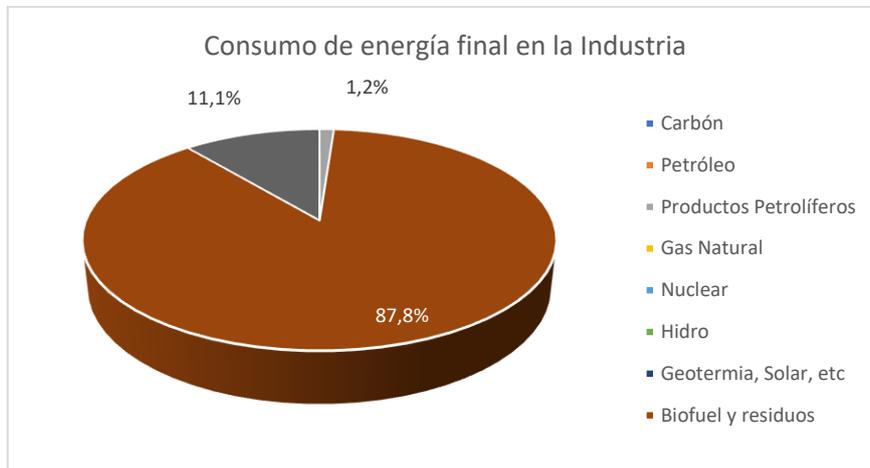


Gráfico 5: Consumo de energía final en la industria

- TRANSPORTE

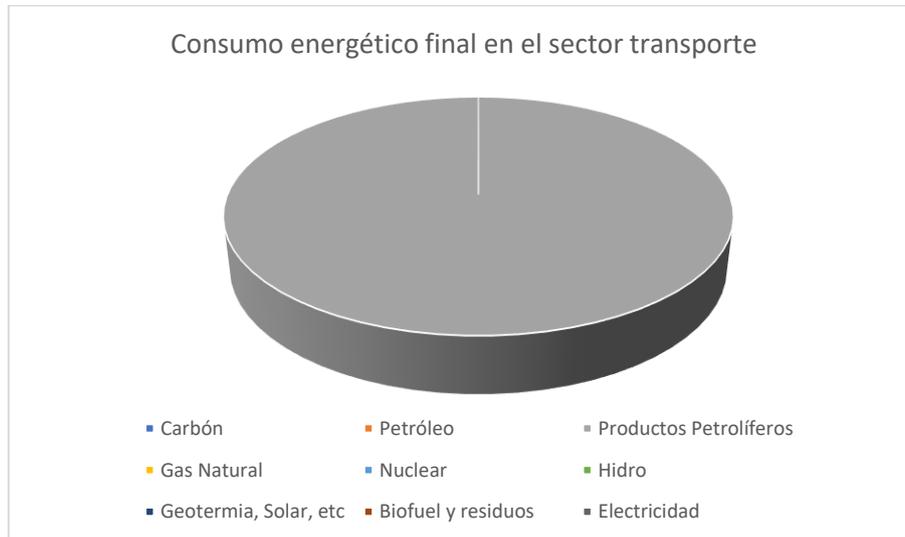


Gráfico 6: Consumo energético final en el sector transporte.

Como puede verse en el anterior gráfico, toda la energía consumida en el sector transporte proviene de los combustibles derivados del petróleo, sin nada de utilización de biocombustibles ni electricidad.

- RESIDENCIAL.

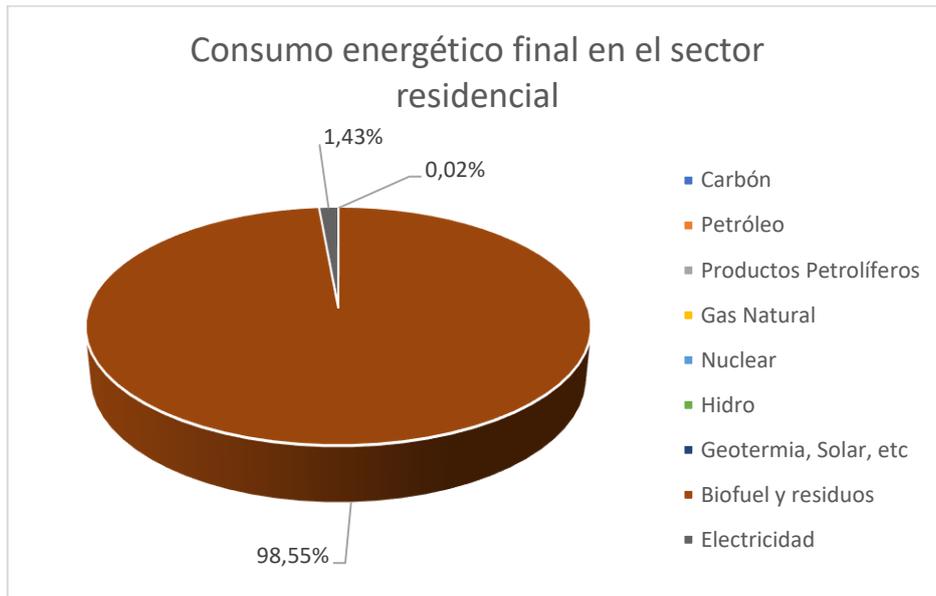


Gráfico 7: Consumo energético final en el sector residencial

En el sector residencial ocurre algo muy parecido a lo que ocurre en el sector de la industria con un predominio total de la electricidad.

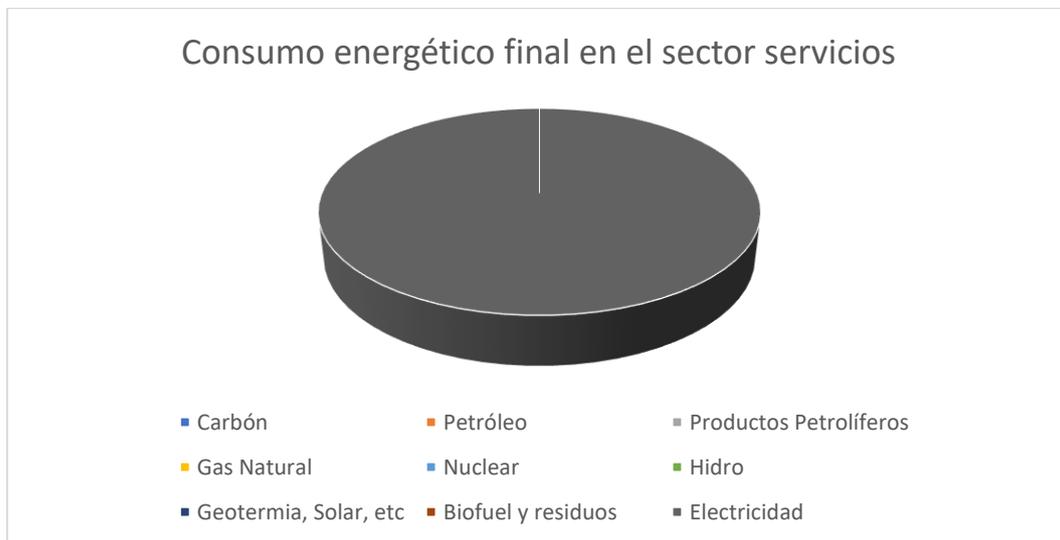


Gráfico 8: Consumo energético final en el sector servicios

Como puede verse en el gráfico anterior, en el sector servicios únicamente se consume electricidad como fuente final de energía.

En el resto de sectores como son agricultura, forestal y pesca no se tiene ningún consumo energético, mientras que para otros usos no energéticos se consumen 5 ktep en productos petrolíferos.

Para hacernos una idea, estos datos se podrían comparar con España. A groso modo España cuenta con 46 millones de habitantes, mientras que la República democrática del Congo cuenta para datos del año 2014 con 75 millones de habitantes. En este sentido España importa un total de 65.213 kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep), mientras que la República Democrática del Congo tan solo se sirve con los 1.068 ktep que produce. En cuanto a Gas natural no produce nada y apenas importa 2 kteps, mientras que España produce 21 kteps e importa 31.646. En referencia a la energía nuclear ni producen ni consumen.

La República Democrática del Congo es un país con un gran recurso hídrico aprovechable, y en el que apenas se están produciendo 759 ktep frente a los 3.369 ktep que se generan por ejemplo en España. En referencia a la electricidad, este país cuenta con un saldo eléctrico negativo y además únicamente se consumen 679 ktep eléctricos que derivan de 373 ktep eléctricos consumidos en la industria, 237 en el sector residencial y 69 en el sector comercio y servicios, contrastando con los 19.513 ktep que se consumen en España, con una población que es casi la mitad que la de la República Democrática del Congo. Esto muestra la escasa o nula capacidad que tiene el pueblo de la República Democrática del Congo en el acceso a la electricidad, con porcentajes de acceso a la electricidad menores del 10 % de la población. En algunas zonas incluso este porcentaje es inferior al 1 %.

Todos estos datos demuestran los pocos recursos energéticos y el poco desarrollo energético con el que cuenta el país y el gran hacer que hay por delante, sobre todo en materia de electrificación y acercamiento de la electricidad a la mayoría de las zonas rurales del país. Como puede apreciarse en los consumos finales no se utiliza el Gas Natural, pero sí vemos como se utiliza una gran cantidad de ktep en biofuel y residuos, debido a que la mayoría de los procesos térmicos del país se consiguen mediante la quema de residuos forestales o agrícolas, en muchas ocasiones en estufas convencionales o incluso en calderos o directamente en hogueras.

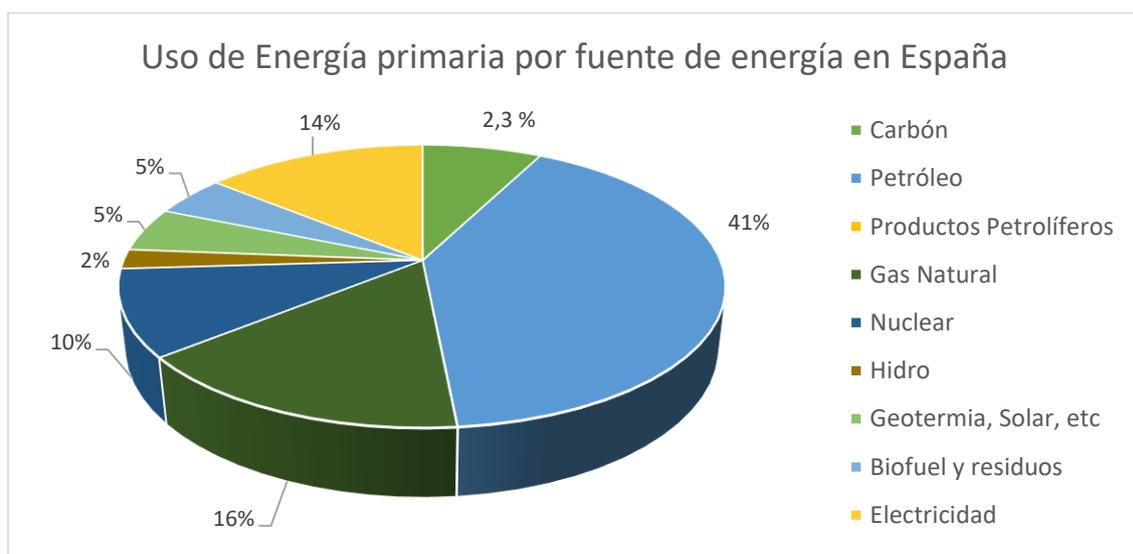


Gráfico 9: Uso de energía primaria por fuente de energía en España

Como puede verse en el gráfico anterior, al contrario de lo que pasa en la RDC, en España, los consumos de energía primaria están mucho más repartidos, donde en este caso el biofuel, biomasa y residuos agrícolas tan solo representa un 5 %, frente al 41 % que representa el petróleo o la electricidad con un 14 %. Además, en España la generación de electricidad es mucho más variada.

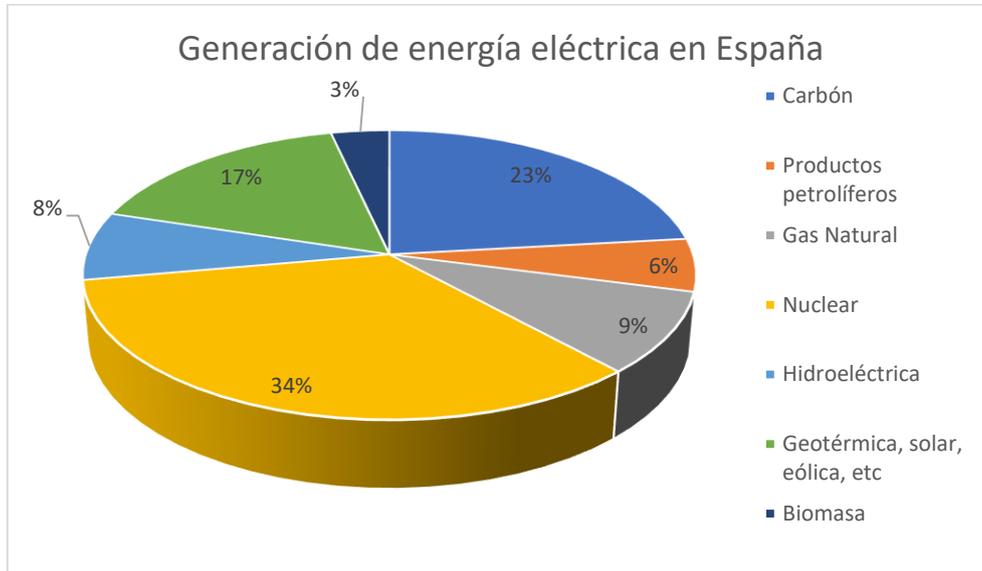


Gráfico 10: Generación de energía eléctrica en España.

En este caso la generación es mucho más variada y por consiguiente el mix mucho más amplio, no dependiendo tanto de una sola forma de generación de energía eléctrica.

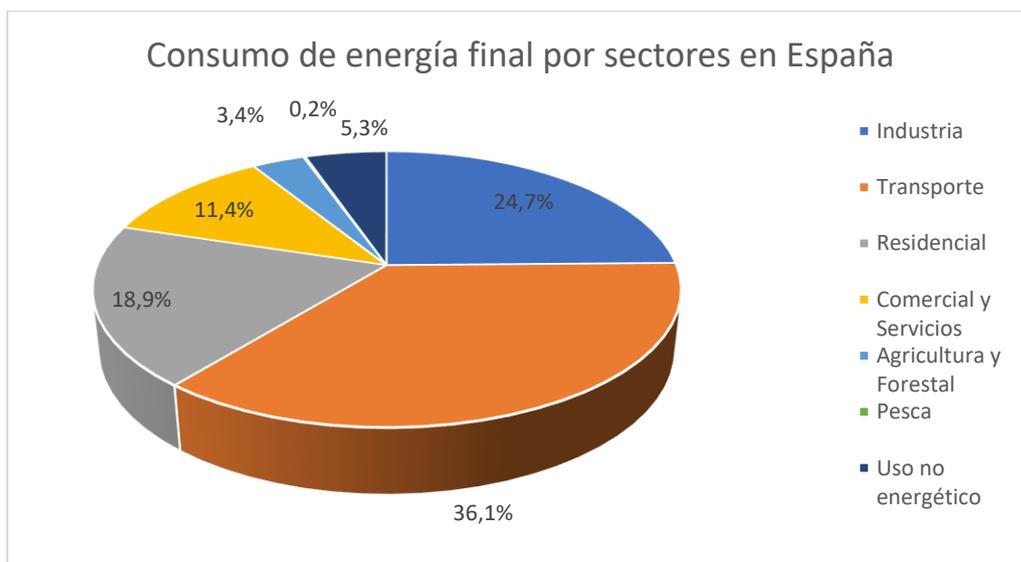


Gráfico 11: Consumo de energía final por sectores en España

En comparación con la RDC, el consumo en los sectores es mucho más variado, con un predominio de la industria y el transporte sobre el sector residencial, lo que hace ver que

hay un desarrollo económico, energético e industrial mayor que en el Congo, donde la mayoría del consumo únicamente se limita al sector residencial.

Realizando una clasificación de las características energéticas de los principales territorios del país se puede observar como el acceso a la electricidad y la producción de energía eléctrica es prácticamente nula, salvo en el territorio más económico del país (Kinshasha), donde la electrificación llega al 54 % de la población, pero que las características de estas redes eléctricas son nefastas y el servicio que se ofrece es insuficiente para la alta demanda que se exige produciéndose innumerables cortes eléctricos.

A continuación, se va a realizar un desglose de los territorios presentes en la República Democrática del Congo para conocer la situación energética en la que se encuentran en la actualidad.

- BANDUNDU:

En estos territorios se ha evaluado una demanda de 356 MW, frente a los 13 MW que pueden ser generados actualmente. De este modo hay un déficit de energía eléctrica que se cifra en 343 MW.

Se muestra una tasa de electrificación del 0,6 %.

- BAJO CONGO:

La tasa de electrificación de este territorio se sitúa en un 9,7 %. El consumo energético se sitúa en 1.363 ktep donde la biomasa representa el 97 %, valor que se encuentra en la media nacional.

La demanda actual de energía eléctrica se cifra en 194 MW, frente a los 86 MW de potencia disponible en la actualidad. Serían necesarios pues, 108 MW más para satisfacer todas las necesidades energéticas.

Cabe comentar que estos 86 MW solo representan un 10 % de la potencia que realmente hay disponible por parte de la central de INGA.

- ECUADOR

La demanda energética de este territorio se cifra en 426 MW frente a los 26 MW disponibles en la actualidad, habiendo una deficiencia de 400 MW.

- KASAI – OCCIDENTAL

La demanda energética de esta región se evalúa en 233 MW, en contraposición con los 4 MW insignificantes que pueden suministrarse actualmente.

De este modo se puede ver como hay un déficit de 229 MW, que están paralizando todos los sectores de esta región, sin poder desarrollarse plenamente.

La tasa de electrificación se cifra en un tan sólo 0,5 %. Las grandes villas de la provincia son alimentadas por recursos térmicos.

- KASAI – ORIENTAL

La tasa de electrificación, al igual que para el caso de Kasai-Occidental es muy baja, concretamente del 1 %.

La demanda de energía eléctrica se cifra en 314 MW, frente a una potencia disponible de 11 MW, habiendo así una brecha energética total de 303 MW.

- KATANGA

Aproximadamente el 87 % de la población presente en este territorio no tiene acceso a la electricidad, con una gran cantidad de territorios que no pasan del 1 % de tasa de electrificación.

La demanda actual de energía eléctrica se cifra en 900 MW, de los cuales 600 MW derivan de la industria de la minería. Actualmente se puede dar un servicio de 567 MW, quedando una brecha de 333 MW. La industria minera de esta zona se encuentra en la zona sur, donde hay un potencial hidroeléctrico importante.

Este hecho podría aumentar llevar a cabo proyectos de energías renovables en estas zonas.

- KINSHASA

Esta es la región de mayor impacto económico del país, donde se aglutina toda la economía del país. Esta región se encuentra dominada por el sector primario (Agricultura, minería, ganadería...) y por el sector secundario (producción industrial, generación de electricidad, producción de agua potable) y sector servicios.

En esta región la tasa de electrificación se incrementa hasta el 44 %, valor que está muy por encima de la media nacional. Aun así, la potencia disponible se cifra en 410 MW, frente a los 852 MW que se demandan, de los cuales 435 MW provienen del sector residencial y 417 MW del resto de sectores.

- MANIEMA

La demanda energética de esta región se cifra en 104 MW para todos sus territorios y tan sólo hay disponible 1 MW, por lo que se puede ver como hay una brecha energética de 103 MW. Cabe comentar que hay 1 MW disponible cuando la potencia instalada es de 18 MW, lo que hace ver el mal estado de las infraestructuras.

La tasa de electrificación tan solo llega hasta el 3 %. La densidad de población en esta región es muy baja, tan solo 19 hab/km²

- KIVU NORTE

La potencia disponible para la población se cifra en 13,84 MW. Por otro lado, la demanda energética se calcula en 153 MW, por lo que harían falta 139 MW a instalar para cubrir las necesidades de la región.

La tasa de electrificación se cifra en un 3,1 %.

- PROVINCIA ORIENTAL

La potencia disponible actual, proveniente de centrales térmicas e hidroeléctricas es del orden de 23 MW frente a una demanda de 421 MW. De este modo se deduce un déficit de energía eléctrica de 398 MW.

Hay pequeñas centrales hidroeléctricas para la gran cantidad de sitios potenciales. Así mismo hay muchas centrales térmicas de pequeña potencia y obsoletas y una gran cantidad de grupos electrógenos.

La tasa de electrificación se cifra en un 3,6 %.

- KIVU SUR

La potencia disponible se cifra en 8,50 MW, frente a una demanda de energía eléctrica de 188 MW, habiendo un déficit energético total de 180 MW.

La tasa de electrificación se estima en un 7,9 %.

Todos estos anteriores datos muestran lo que ya se ha contado en párrafos anteriores. La RDC vive una situación energética insostenible, donde en todos los territorios del país, la tasa de electrificación no pasa del 10 %, a excepción de Kinshasa, donde toda la generación eléctrica se basa en grandes y medianas centrales hidroeléctricas así como centrales térmicas que se encuentran obsoletas y con una tecnología anticuada y en decadencia, que provoca que no se pueda aprovechar al máximo la potencia instalada, llegando en algunas ocasiones a sólo poder aprovechar el 10 % de la potencia instalada.

Claramente el país necesita una remodelación energética que haga llegar la energía a todas las zonas dentro de sus posibilidades y que intente cubrir en un gran porcentaje la demanda de energía eléctrica demandada desde un punto de vista fiable y así mejorar la tasa de electrificación o tasa de acceso a la electricidad.

1.4. Oportunidades energéticas en la República Democrática del Congo.

La República Democrática del Congo es un país en el que la población se dedica mucho a la agricultura para poder subsistir, además, cuenta con un gran territorio extenso de bosques y vegetación, así como unos recursos hídricos debido a sus ríos muy importante. En este sentido, la RDC tiene por consiguiente unos residuos agrícolas y ganaderos bastante importantes que pueden ser aprovechados y darle un mejor uso que al que se le está dando en la actualidad.

El gobierno de la nación, tiene en mente dar acceso a la electricidad a la mayoría de su población, aumentando la tasa de electrificación, y tiene recursos renovables suficientes como para lograrlo.

En este país, hay muchas aldeas y villas rurales que no cuentan con electrificación, ya que la mayoría del servicio eléctrico está centralizado en las grandes ciudades, como ya ha sido comentado con anterioridad. En este sentido, la modernización de estas zonas rurales empieza por aprovechar del mejor modo los recursos energéticos que estas aldeas y villas tienen. Hasta ahora la generación de energía eléctrica está basada en grandes centrales hidroeléctricas y térmicas que dan servicio a estas grandes ciudades, pero hay una gran cantidad de lugares en los que se puede aprovechar a pequeña escala la energía hidroeléctrica, con instalaciones de microhidráulica, picohidráulica, los residuos agrícolas en pequeñas plantas de gasificación y biomasa y así dar servicio eléctrico y térmico a estas aldeas y villas. En estas villas, al acercarse la electricidad, podrán mejorarse los servicios y calidad de vida de las personas que en ellas se encuentren, reactivando la economía local y haciendo lugares más fructíferos. Esto provocará un aumento de la población y del tejido industrial que podría llevar a inversiones en proyectos en las zonas, que traten de generar todavía más electricidad y electrificar a gran escala, y no solo con pequeñas redes en las zonas rurales de las que se habla.

El biogás y biocombustibles pueden abrir su mercado de una forma muy amplia, debido a la gran cantidad de residuos agrícolas y ganaderos. Esto conllevaría una incentivación del mercado agrícola.

Es de especial importancia, que el viento en la República Democrática del Congo es bastante limitado, pero que, sin embargo, la energía hidráulica, la solar y la biomasa son muy abundantes y pueden contrarrestar la limitación de la energía eólica.

Cada Región cuenta con un potencial energético distinto para satisfacer las necesidades de energía eléctrica y térmica, que se va a mostrar a continuación.

En la siguiente hoja puede verse el potencial solar de todas las regiones de la RDC.

POTENCIAL SOLAR DE LA RDC

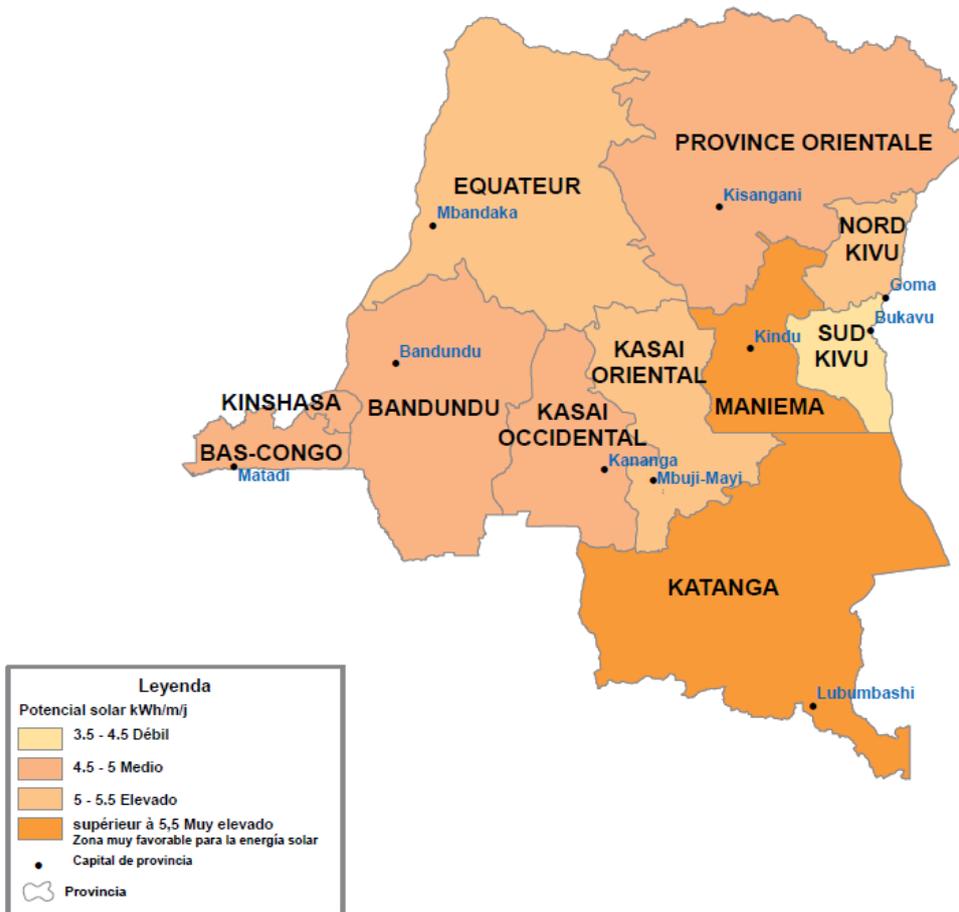


Gráfico 12: Potencial solar en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.

Como se muestra en el gráfico anterior, muchas de las regiones de la RDC, presentan una irradiación elevada como para poder sacar el máximo rendimiento a la energía solar fotovoltaica, sobre todo en KATANGA y MANIEMA.

En la siguiente ilustración, puede verse la velocidad que puede llegar a alcanzar el viento en cada una de las regiones.

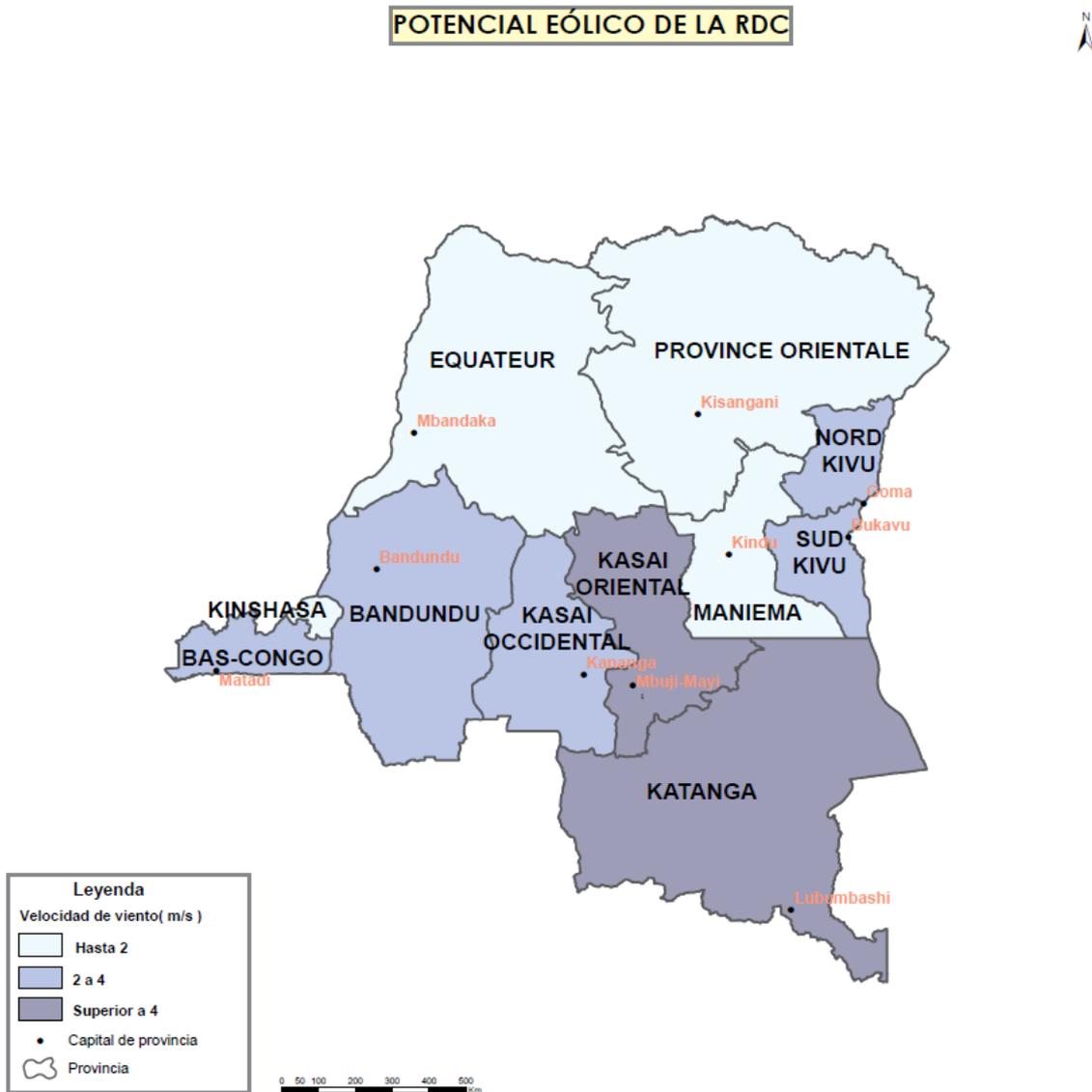


Gráfico 13: Potencial eólico en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.

En este caso son pocas las regiones que tienen unos vientos de gran velocidad como para ser aprovechados, solo hay 2 regiones que cuentan con velocidades superiores a 4 m/s pero que habría que estudiar el régimen de vientos para estudiar el número de horas anuales de viento.

A grosso modo se puede notificar que la energía eólica está algo limitada.

En la siguiente hoja puede verse un gráfico igual al anterior en el que se muestra la capacidad de aprovechamiento hidroeléctrico de las regiones.



Gráfico 14: Potencial hidráulico en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.

A continuación, se va a mostrar el potencial en biomasa existente, así como una breve introducción a los tipos de bosques y zonas agrícolas existentes en la RDC.

Potencial energético de residuos agrícolas (GWh / año primario)

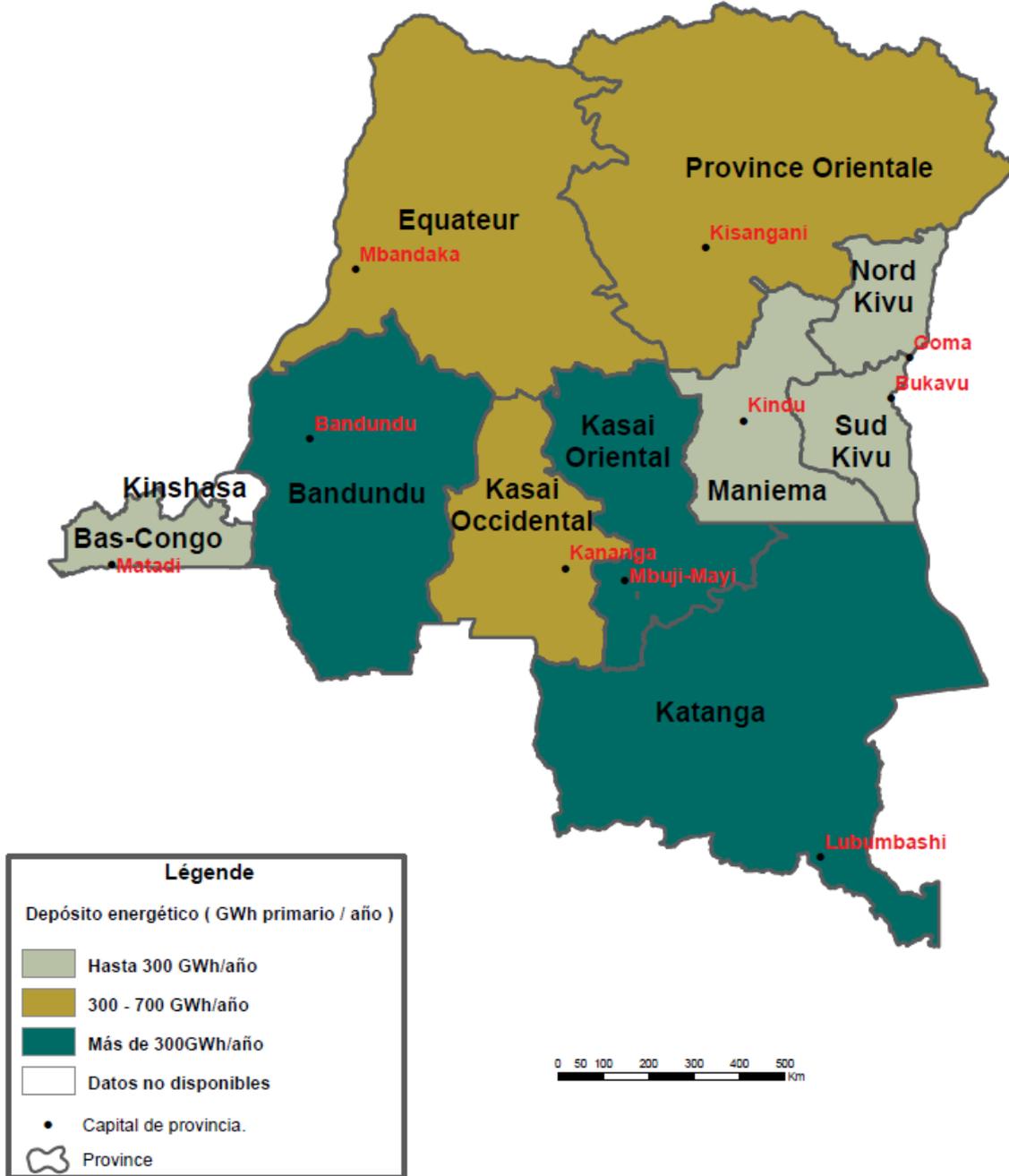


Gráfico 15: Potencial energético de la biomasa en la RDC, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.

Las zonas pantanosas como Bajo Congo o la zona de Kivu Norte y Kivu Sur, son en las que menos residuos agrícolas se generan por la menor cantidad de plantaciones presentes en estas zonas. En la zona de selva ecuatorial pueden llegar a generarse entre 300 – 700

GWh/año, mientras que en las zonas del sur siempre se van a producir más de 300 GWh/año en términos de biomasa.

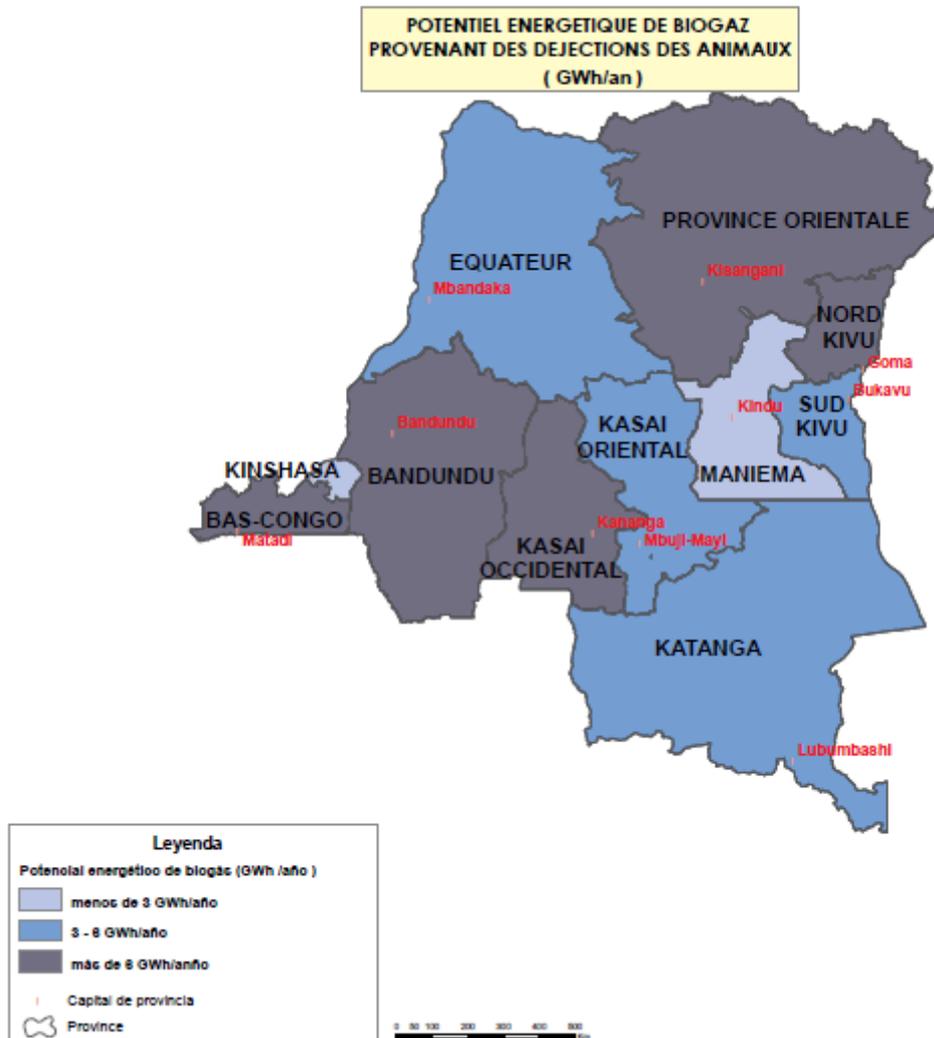


Gráfico 16: Potencial energético de biogás proveniente de residuos animales, Fuente: Atlas des Energies Renouvelables de la RDC.

Como puede observarse en el gráfico anterior, la mayoría de las regiones de la República Democrática del Congo están capacitadas para producir biogás entre 3 y 6 GWh/año o más de 6 GWh/año.

A continuación se va a realizar una breve visión territorio por territorio del potencial energético de cada uno de ellos.

- BANDUNDU.

Esta región cuenta con una potencia hidroeléctrica estimada de 172 MW, en 114 sitios evaluados.

El potencial solar de la zona varía desde los 4,5 hasta los 7 kWh/m²/día, habiendo un potencial solar importante que puede suplir las deficiencias energéticas que se produzcan por falta de energía hidroeléctrica.

- BAS-CONGO:

En esta región la agricultura es la actividad predominante, con un 75 %. La actividad industrial se limita a las industrias agropastorales y las industrias agroalimentarias o industrias extractivas.

El potencial hidroeléctrico se cifra en 64.000 MW, 44.000 de los cuales se derivan de Inga. Actualmente solo se explotan un total de 1.879,8 MW que se obtienen de las centrales de Inga y Zongo, por lo que todavía hay un enorme potencial hidroeléctrico por utilizar.

En esta zona se llegan a evaluar un total de 20 sitios que hacen un total de 46 MW para poder instalar pico, micro y minihidráulica en pequeñas centrales hidroeléctricas que ayuden a la descentralización de la energía eléctrica.

El potencial solar de esta zona se cifra en 4,5 kWh/m²/día, que es suficiente para cualquier tipo de tecnología solar.

El potencial eólico es favorable en la cota Atlántica y en el interior de la provincia, con valores por encima de la media válida para una instalación viable desde un punto de vista técnico-ecoómico con vientos que pueden llegar hasta los 6 m/s.

- ECUADOR

El potencial hidroeléctrico se eleva hasta los 122 MW para los pocos sitios evaluados, que permite cubrir una buena parte de la demanda energética. Sin embargo, hay otros sitios no evaluados, que podrían aumentar dicho potencial.

A pesar de la sombra que le confieren sus extensos bosques, la provincia del Ecuador goza de un buen nivel solar, convirtiéndose en la segunda provincia más importante después de Katanga, con valores entre 5 y 5,5 kWh / m² / día. En 2012 con un total de 167 instalaciones domésticas se llegaron a alcanzar un total de 16,1 kW o la instalación del Aeropuerto de Mbandaka de una potencia de 50 kVA.

Cuenta con un potencial muy fuerte de biomasa con alrededor de 40 millones de hectáreas forestales.

- KASAI – OCCIDENTAL

Esta provincia está bañada de Norte a Sur por los principales ríos que son Lukeni, Sankuru, Lulua, Miao, Luebo, Lueta, Thisapaka, Longatshimo, Tshiumbre y Lubembe que ofrecen un gran potencial hidroeléctrico fácilmente explotable para la instalación de pico, micro y mini centrales hidráulicas. De este modo el potencial hidráulico se cifra en 433 MW para solo algunos sitios evaluados, permitiendo cubrir con creces la demanda energética de la región.

En cuanto al potencial solar, las siguientes ciudades son las más recomendadas para la instalación de módulos fotovoltaicos: Kananga, Tshikapa, Llebo, Luebo y Mweka con una radiación solar que oscila entre los 4,4 y 5,14 kWh/m²/día.

- KASAI – ORIENTAL

En esta región, predomina el comercio y el turismo donde el diamante es el principal recurso de la región y siendo así la principal actividad económica. La actividad minera del diamante ha hecho que se produzca un éxodo rural y que se abandonen las actividades agrícolas, por lo que la provincia depende de otras en términos de alimentación.

Energéticamente hablando, esta región, como la mayoría, presenta una hidrografía densa, aunque los ríos no son regulares durante el año. Aun así, el potencial hidroeléctrico evaluado se cifra en 252 MW, para los pocos sitios que hay evaluados, potencia que cubriría sobradamente la demanda energética de la región. Se conoce que hay otros muchos sitios hidráulicos por evaluar en esta región que podrían hacer frente a un aumento de la demanda considerable. Actualmente la región tiene un déficit debido a la obsoleta hidráulica, mal funcionamiento de las instalaciones térmicas y la obsolescencia de la red eléctrica. Hay un proyecto de microhidráulica que daría un servicio de 48 kW.

El potencial solar oscila entre 5,16 kWh/m²/día. Estos valores están por encima de la media nacional y que por lo tanto permitiría una explotación económica de las instalaciones solares.

En cuanto al potencial eólico este varía entre 4,1 m/s y 4,3 m/s dependiendo de la zona y unos valores máximos de 5,2 m/s. Potencial muy focalizado en pequeñas ciertas zonas y para la producción puntual como bombeo de agua, molienda, pero no para la producción continua de electricidad.

Debido a la irregularidad de la cantidad de agua de los ríos en esta región, la seguridad energética pasa por la diversificación de los recursos energéticos, incluyendo la energía térmica de la biomasa o productos petrolíferos.

- KATANGA

Katanga es el pulmón económico de la RDC gracias a la explotación minera de diversos minerales como el cobre, cobalto, uranio, platino, litio, talco, wolframio, cinc, bismuto, cadmio, germanio, etc.

Se encuentran otras actividades manufactureras, agrícolas y comerciales.

Los principales recursos energéticos son la biomasa, la energía hidráulica, el carbón mineral, el potencial solar, eólico, geotérmico y el uranio.

Esta zona cuenta con un recurso hídrico muy importante con una fuerte pluviometría. El problema reside en que el potencial está fuertemente concentrado en el suroeste. La potencia estimada se cifra en 2.231 MW, habiendo sitios todavía por evaluar.

La provincia cuenta con una muy buena radiación solar que se cifra en 6,5 kWh/m²/día, más que suficiente para aprovechar la energía del sol.

Hay también un potencial eólico localizado en el distrito de Zolwezi con unos vientos predominantes de 5 m/s así como un potencial de recursos agrícolas muy importantes que se cifran alrededor de los 700 GWh/año.

En conclusión se trata de una región con una diversidad energética importante.

- KINSHASA

Se trata de una de las regiones más desarrolladas del país, con una tasa de electrificación del 50 %.

En cuanto al potencial de biomasa es muy escaso agrícolamente hablando y únicamente se limita a los residuos municipales y urbanos, con los que se puede llegar a lograr una producción anual de 1.776.461 MWh/año.

El potencial solar varía entre 3,22 y 4,89 KWh/m²/día, quizás algo escaso para una buena explotación.

El potencial eólico es prácticamente inexistente.

La brecha en el déficit energético habría que suplirla con aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos y con más explotación hidroeléctrico aprovechando la centralización de la energía eléctrica en esta zona y las redes eléctricas existentes.

- MANIEMA

Se trata de una región con una población de tan solo 19 hab/km²

El estado de las centrales de generación eléctrica es mediocre, con piezas y elementos constructivos en mal estado y por consiguiente muchas centrales en desuso.

Hay 3 centrales térmicas que trabajan alrededor del 80 % de su capacidad. En total hay una potencia disponible del orden de los 2 MW, frente a una demanda de energía eléctrica de 333 MW.

La provincia cuenta con un recurso hídrico importante para la instalación de pico, micro y minicentrales hidráulicas y pequeñas y grandes centrales. En total se pueden aprovechar 458,1 MW evaluables y todavía hay un total de más de 100 lugares por evaluar.

El potencial solar es suficiente como para favorecer la instalación de la tecnología fotovoltaica, con una insolación que se mueve en el rango de 3,5 – 6,75 KWh/m²/día.

Prácticamente no hay potencial eólico.

- KIVU DEL NORTE

El potencial hidroeléctrico de esta región se cifra en 240,3 MW,

El potencial de biomasa puede llegar a producir una energía de 76.583,74 MWh/año, a partir de residuos totalmente agrícolas.

El potencial solar varía entre los 4 y 5,5 kWh/año que son valores favorables para la instalación fotovoltaica, así como lugares idóneos favorables para instalar los paneles solares.

La velocidad del viento media anual es inferior a 5 m/s que dificulta el uso de aerogeneradores.

Hay posibilidad de utilización de Gas Natural, pero no hay infraestructuras como para hacer uso del mismo.

- PROVINCIA ORIENTAL

Se trata de otra región con muy baja densidad de población, cifrándose en 18 hab/km². Las principales actividades económicas son la minería, el turismo, la industria, el comercio y la energía.

La Provincia oriental tiene continuamente lluvias y está llena de corrientes y cascadas y rápidos. De este modo hay un gran número de sitios evaluados y potencialmente aprovechables que hacen un total de 2.684 MW posibles. Se pueden aprovechar todo tipo de centrales hidroeléctricas, desde las pico hasta las grandes.

El potencial solar de la provincia, varía desde los 3,5 hasta los 5 kWh/m²/día.

- KIVU DEL SUR

Al igual que Kivu Norte, esta región es algo inestable, zona de guerrillas y altamente inestable. Esta población se basa en plantaciones agrícolas de café, patata, yuca, plátano o caña de azúcar. La minería como en casi todas las regiones es también importante.

Esta provincia tiene un gran potencial renovable, ya que el potencial hidroeléctrico se cifra en 1050 MW, una producción anual a través de residuos agrícolas cifrados en 109.879 MWh/año, una insolación que supera los 5 kWh/m²/día en todo su territorio, así como un potencial eólico con vientos superiores a 5 m/s o 6 m/s en algunas zonas que hacen un uso favorable de aerogeneradores.

En estas circunstancias el presente trabajo de estudio se subdivide en dos partes claramente diferenciadas.

- **Parte 1 ---- Análisis Macro - Energético:**

En este primer punto, se va a realizar un análisis energético de la situación en la RDC, qué objetivos se quieren lograr y qué sería necesario para ello así como detallar qué ocurriría en este país si las tendencias actuales se mantuvieran. De este modo se han elaborado dos escenarios diferenciados, uno de ellos continuista (BAU) y otro exploratorio basado en renovables (ER). Más adelante, se presentarán en mayor detalle en qué consisten estos escenarios y la diferencia entre ambos.

- **Parte 2 ---- Análisis Micro – Energético:**

Se ha evidenciado la necesidad de generación eléctrica y electrificación en la República Democrática del Congo, así como la necesidad de hacerlo por medio de energías renovables en el seno del contexto energético del país. De esta forma en la segunda parte del trabajo se va a realizar un estudio de qué combinación de renovables (Sistemas renovables híbridos) sería la más prometedora a nivel local en función de la región y tipo de climatología del lugar.

PARTE 1: Análisis macro - energético

2. ANÁLISIS MACRO ENERGÉTICO EN LA REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO.

Una vez identificadas las oportunidades energéticas que presenta la República Democrática del Congo, habrá que sentar las bases y realizar unos escenarios energéticos posibles, para tratar de ver las posibilidades de crecimiento energético de este país, desde distintos puntos de vista en función de las exigencias que se quieran alcanzar.

Anteriormente, con todos los puntos expuestos se ha dado a conocer la importante problemática con la que cuenta la República Democrática del Congo y las oportunidades que tiene para mejorar, pero que ahora bien, habrá que comparar que ocurriría si el país sigue con las mismas tendencias actuales y compararla con escenarios futuristas más sostenibles. Es por ello que entran en juego la creación de escenarios.

Primeramente, se va a realizar un escenario BAU y a posteriori se realizará un escenario futuro basado en las energías renovables. Este tipo de escenarios será explicado más adelante, donde se puede ver dónde puede llegar la República Democrática del Congo según qué estrategias realice.

2.1. Escenario Business As Usual (BAU).

Un escenario no es más que una herramienta para organizar la información sobre alternativas de futuro, creando la base para las decisiones sobre actuaciones a implementar y llevar a cabo en ese futuro, realizando conjeturas sobre qué sucederá apoyándose en teorías o elementos del pasado.

Los escenarios, son por tanto especulativos, pero mediante ellos es posible llegar a una orientación sobre los posibles escenarios que pueden producirse en un futuro y localizar problemas, amenazas, oportunidades y estrategias. De este modo para la elaboración de un escenario será necesario:

- Datos históricos sobre el pasado y la obtención de las tendencias de las variables que se quieran obtener en el futuro.
- Conjeturas sobre cómo estas tendencias pueden evolucionar en el tiempo.

El escenario BAU, es el escenario más habitual en el cual se asume la continuación en un futuro cercano de las tendencias históricas que se derivan del pasado, y que por consiguiente van a seguir a lo largo de los siguientes años. De este modo no se prevén cambios en las tendencias futuras, lo que quiere decir que no se van a realizar actuaciones que modifiquen estas tendencias.

En este sentido los escenarios BAU, tienen una alta probabilidad de ocurrencia a corto y medio plazo. Sin embargo, a largo plazo, cada vez más a medio plazo, su probabilidad de ocurrencia es escasa, puesto que siempre hay variables que intervienen espontáneamente que hacen cambiar estas tendencias. De este modo estas variables que se acaban de nombrar serán las que se introduzcan en la elaboración de escenarios futuros que incorporen cambios cualitativos en el sistema analizado.

En el caso objeto de estudio, se va a realizar un escenario BAU, para tratar de localizar cual sería la situación energética de la RDC en un futuro no muy lejano, y ver así cuán lejos estaría de lograr un acercamiento a la población de la energía eléctrica y así conocer en

mayor medida que tipo de actuaciones hay que realizar para conseguir los objetivos propuestos, en referencia a una evolución energética sostenible en el país objeto de estudio pasando por la electrificación del país. De este modo se va a elaborar un escenario BAU, que se va a tomar de referencia para la elaboración de otros escenarios en los que se introduzcan variables de cambio fomentando la electrificación y acercamiento de la energía a la máxima población de la RDC desde un punto de vista sostenible.

2.1.1. Escenario BAU en la RDC

Para la elaboración del Escenario BAU de la RDC será necesario conocer los registros energéticos históricos para poder crear las tendencias que auguren el futuro energético de la RDC sin realizar ningún cambio ni ninguna actuación, salvo las que se hayan llevado a cabo que se reflejen en los hechos históricos.

Para realizar y crear las tendencias energéticas, se ha procedido a obtener los datos energéticos del país a través de la Agencia Internacional de la Energía. Se han tomado datos en kilotoneladas equivalentes de petróleo (ktep) de consumos de energía final en cada uno de los sectores, desde el año 1990 hasta el año 2014, último año del cual se tienen registros y se ha obtenido la siguiente tabla.

Año	Industrial	Transporte	Servicios	Doméstico	Agric. Y Pesca
1990	2.301	194	0	7.698	1
1991	2.174	164	0	7.895	1
1992	2.243	150	0	8.152	1
1993	2.323	151	0	8.426	1
1994	2.373	155	0	8.655	1
1995	2.450	155	0	8.922	1
1996	2.526	156	0	9.200	1
1997	2.605	154	0	9.493	1
1998	2.686	156	0	9.796	1
1999	2.760	149	0	10.149	1
2000	2.884	263	121	10.397	0
2001	3.000	215	122	10.788	0
2002	3.172	230	39	11.161	0
2003	3.298	273	29	11.558	0
2004	3.406	297	19	11.968	0
2005	3.534	369	20	12.399	0
2006	3.631	397	21	12.917	0
2007	3.832	443	16	13.294	0
2008	3.947	502	16	13.735	0
2009	4.097	502	18	14.223	0
2010	4.123	549	17	14.398	0
2011	4.357	703	18	15.190	0
2012	3.115	699	105	12.784	0

Año	Industrial	Transporte	Servicios	Doméstico	Agric. Y Pesca
2013	3.178	1.094	113	14.732	0
2014	3.371	1.490	69	16.580	0

Tabla 3: Consumos energéticos por sectores y año en la RDC, Fuente: Agencia Internacional de la Energía, Web

Como puede verse en la anterior tabla, en 20 años, el consumo energético prácticamente no se ha incrementado en la industria, haciendo ver que este sector apenas tiene todavía fuerza en la sociedad de la RDC, que no se construyen nuevas y que apenas tienen acceso a la energía. El sector del transporte sí que ha sufrido un incremento importante al igual que el sector doméstico, habría que evaluar la calidad de estos suministros, que como ya hemos visto no son de lo mejor, dejando que desear el acceso a la electricidad y limitándose este aumento de la demanda a consumos de tipo agrícola, mediante quemas en hogueras y calderas domésticas. En el siguiente gráfico puede verse la evolución de los consumos en estos sectores.

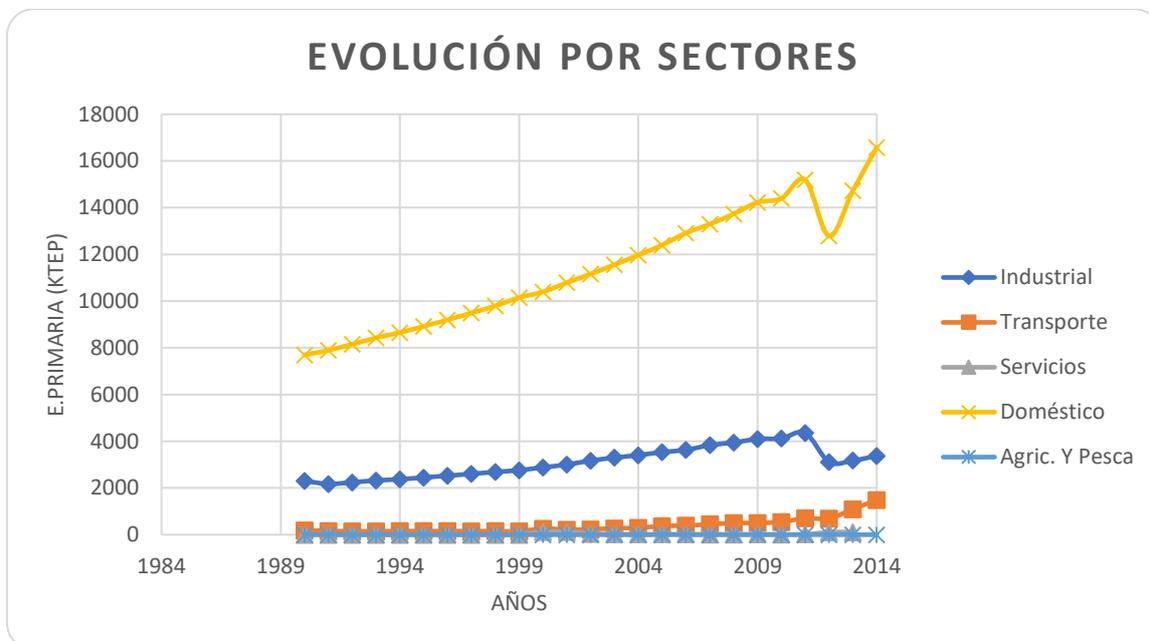


Gráfico 17: Evolución de consumo de energía final por sectores hasta el año 2014

Como puede verse en el gráfico y en la tabla se aprecia una caída de los consumos en el año 2012, quizás por algún trámite de guerra civil.

Una vez tomados los datos de la base de datos, de los que se puede derivar y estimar el comportamiento futuro, se ha realizado un estudio de las tendencias futuras de consumo en cada uno de los sectores, es decir se han calculado unos ratios que indican los ritmos de crecimiento o decrecimiento de la demanda para cada uno de los sectores.

Del mismo modo que se ha realizado para los consumos energéticos para cada uno de los sectores desde el año 1.990 se ha procedido a obtener datos de la población en la RDC y datos del PIB, para así calcular la intensidad energética, que a continuación se explicará el significado de este término. Con todo ello se tiene la siguiente tabla.

Año	Población	PIB (billion 2010 USD)
1990	34,96	23,13
1991	36,31	21,19
1992	37,78	18,96
1993	39,32	16,41
1994	40,8	15,77
1995	42,18	15,88
1996	43,43	15,72
1997	44,56	14,83
1998	45,65	14,59
1999	46,79	13,97
2000	48,05	13
2001	49,45	12,73
2002	50,97	13,11
2003	52,6	13,84
2004	54,32	14,77
2005	56,09	15,68
2006	57,93	16,51
2007	59,84	17,54
2008	61,81	18,63
2009	63,85	19,17
2010	65,94	20,52
2011	68,09	21,93
2012	70,29	23,5
2013	72,55	25,5
2014	74,88	27,81

De esta tabla puede derivarse el siguiente gráfico:

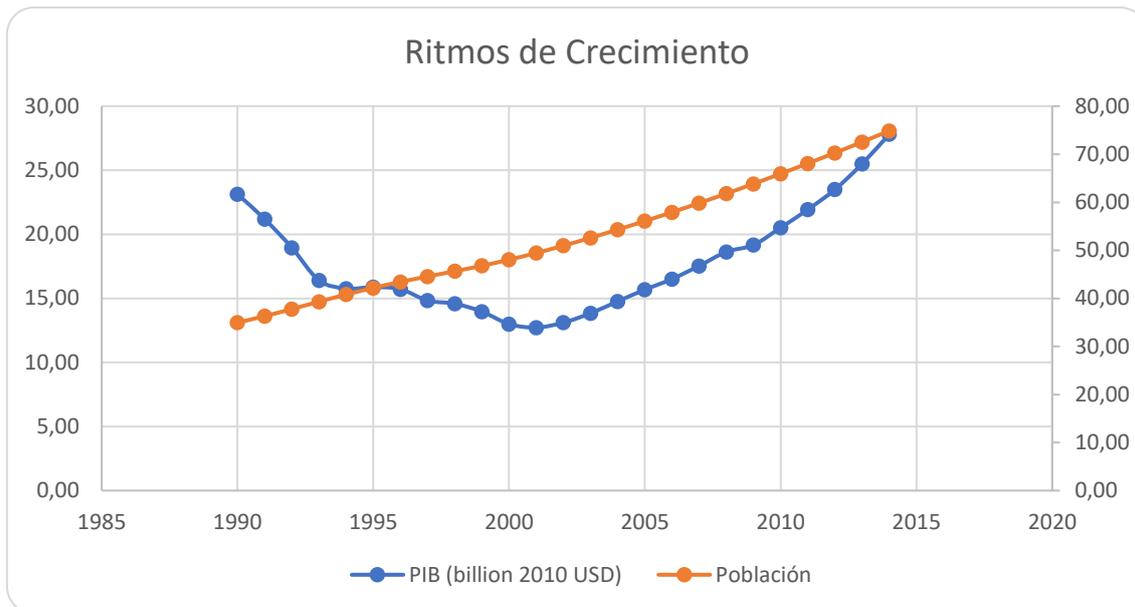


Gráfico 18: Ritmos de crecimiento de la población y el PIB

De estos dos términos se obtiene la intensidad energética, fruto de la división entre el consumo de energía en el país, y el producto interior bruto. De ello se deduce que cuanto más baja sea la intensidad energética, mayor será la eficiencia energética del país, puesto que menor cantidad de energía será necesaria para generar una unidad de bien.

En el anterior gráfico puede verse como la población total de la RDC se ha incrementado desde los 35 millones hasta los 75 millones de habitantes en el año 2014. En cuanto al PIB, ha ido variando desde los 23 hasta los 27 puntos, con descensos durante años que han llegado hasta los 13 puntos. Si se compara por ejemplo con España, el producto interior bruto de España se cifra en 1.375,52 billones USD del 2010.

De este modo, se puede obtener la información de la intensidad energética.

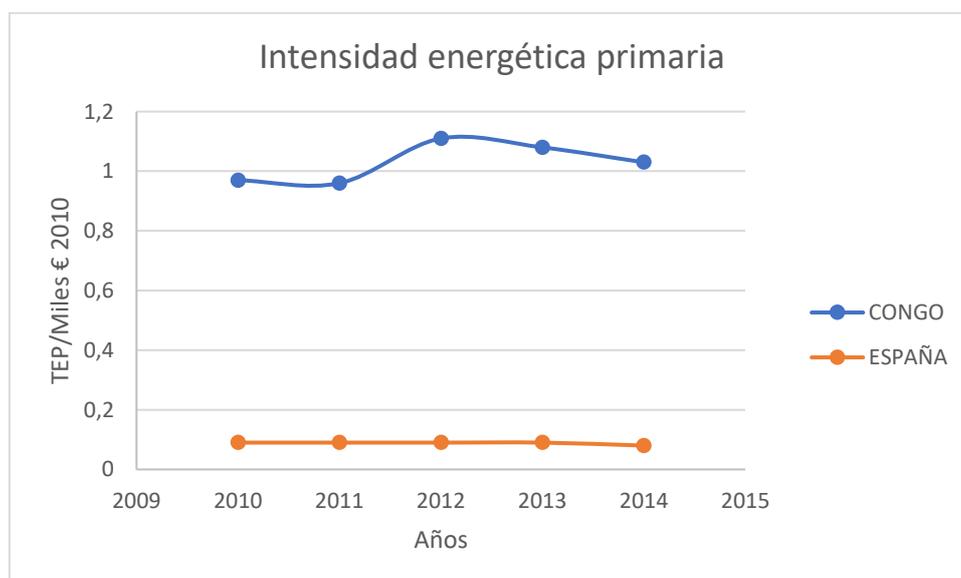


Gráfico 19: Intensidad energética primaria

Como puede observarse, el ratio de España es muy bajo, lo que hace ver que necesita menos energía para generar una unidad de bien, sin embargo en la RDC, ese ratio es bastante mayor, lo que muestra una eficiencia energética bastante mediocre en comparación con España, que se encuentra en la media de la Unión Europea.

Tras conocer los detalles energéticos, se ha procedido al cálculo de los ritmos de crecimiento.

Para ello se han utilizado las siguientes fórmulas.

- $n =$ número de periodos de tiempo
- $\text{presente} = \text{pasado} \times (1 + \text{ritmo de crecimiento})^n$
- $\text{Ritmo de crecimiento} = \left(\frac{\text{Presente}}{\text{Pasado}}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$

Es decir, primero se calcula el ritmo de crecimiento a través de un valor conocido del pasado y otro del presente, en un término determinado de años. Tras ello ya se podrán calcular los valores futuros.

Con todo ello, se tienen los siguientes ritmos de crecimiento.

Ítems	Ritmos de crecimiento (%)
Industrial	1,54
Transporte	8,50
Servicios	0,00
Doméstico	3,12
Agric. Y Pesca	0,00
Población	3,09
PIB (billion 2010 USD)	0,7

Tabla 4: Ritmos de crecimiento en los sectores económicos para el E.BAU

Una vez calculados los ritmos de crecimiento, ya se está a la disposición de calcular los valores futuros de consumo en los próximos años desde un punto de vista conservador en el que se considera que no van a producirse cambios en un futuro y que por lo consiguiente se van a mantener los ritmos de crecimiento, es decir un escenario BAU.

Primeramente, se ha elaborado una situación inicial que se toma de partida. Se han tomado los datos presentes en la Tabla 2, que se tomarán como base para la elaboración del Escenario BAU.

Con todo ello se ha elaborado la siguiente tabla:

DATOS PARA EL AÑO 2014									
SECTOR		Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Industria	<i>ktep</i>	373	0	39	0	2.958	0	3.370	16
	%	11	0	1	0	88	0		
Transporte	<i>ktep</i>	0	0	1.490	0	0	0	1.490	7
	%	0	0	100	0	0	0		

DATOS PARA EL AÑO 2014									
SECTOR		Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Servicios	ktep	69	0	0	0	0	0	69	0
	%	100	0	0	0	0	0		
Doméstico	ktep	237	0	3	0	16.340	0	16.580	77
	%	1	0	0	0	99	0		
Agríc. Y Pesca	ktep	0	0	0	0	0	0	0	0
	%	0	0	0	0	0	0		
Gen. Electricidad	ktep		0	1	2	825	0	828	
	%		0	0	0	100	0		

Tabla 5: Datos de consumo energético para el año 2014 por sectores

DATOS PARA EL AÑO 2014								
ITEMS	Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Total fuente	679	0	1.533	2	20.123	0		
Saldo eléctrico	-92							
Electricidad generada	771							
Total E. Primaria							21.566	
	0	0	7	0	93	0		
Total E. final							21.509	

Tabla 6: Resumen situación energética para el año 2014

Una vez que se tienen claros los datos energéticos para el último año del que se tienen datos y se tienen los ritmos de crecimiento, estos se usarán con las fórmulas anteriormente vistas para predecir los valores futuros. Se va a proceder a realizarse de 3 años en 3 años.

- Año 2.017

Primeramente, se calcula el crecimiento que se va a tener en el rango de esos 3 años.

ITEMS	Población	PIB	Industria	Transporte	Servicios	Doméstico	Agríc.y pesca
Ritmo anual crecimiento	3,1	0,7	1,5	8,5	0,0	3,1	0,0
Total crecimiento para el periodo	1,096	1,022	1,047	1,277	1,000	1,096	1,000
Total	82,05	28					

Tabla 7: Ritmos anuales de crecimiento de los sectores hasta el año 2017

El cálculo de los nuevos valores se ha realizado del siguiente modo:

Primeramente se ha calculado el nuevo total de ktep para cada uno de los sectores, sumándole al anterior valor que se tenía para el año 2014, el tanto por ciento que se incrementa por el ritmo de crecimiento. De este modo se tiene un nuevo valor que se distribuirá por fuentes de energía con los mismos porcentajes que antes se tenían, que no

varían. Es decir, por ejemplo en Industria, la electricidad seguirá siendo el 11 % del consumo de energía para este sector.

Con todo ello se consigue la siguiente tabla:

SITUACIÓN AÑO 2.017									
SECTOR		Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Industria	ktep	390	0	41	0	3.097	0	3.528	15
	%	11	0	1	0	88	0	-	-
Transporte	ktep	0	0	1.903	0	0	0	1.903	8
	%	0	0	100	0	0	0	-	-
Servicio	ktep	69	0	0	0	0	0	69	0
	%	100	0	0	0	0	0	-	-
Doméstico	ktep	260	0	3	0	17.916	0	18.179	77
	%	1	0	0	0	99	0	-	-
Agric.y Pesca	ktep	0	0	0	0	0	0	0	0
	%	0	0	0	0	0	0	-	-
Gen. Electricidad	ktep	-	0	1	2	868	0	871	
	%	-	0	0	0	100	0	-	-

Tabla 8: Situación energética por sectores en el año 2017 en E.BAU

SITUACIÓN AÑO 2.017							
ITEMS	Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total
Total fuente	719	0	1.948	2	21.881	0	-
Saldo eléctrico	-92	-	-	-	-	-	-
Electricidad generada	811	-	-	-	-	-	-
Total E.Primaria	-	-	-	-	-	-	23.739
Total E.Final	-	-	-	-	-	-	23.679

Tabla 9: Situación energética en E.BAU en el año 2017

Esta simulación de escenarios cada 3 años ha sido simulada hasta el año 2.035, con el mismo criterio que se ha llevado a cabo para el cálculo explicado del año 2.017. Tras la interpretación de todas las variables se obtienen los siguientes gráficos.

- Demanda de energía primaria:

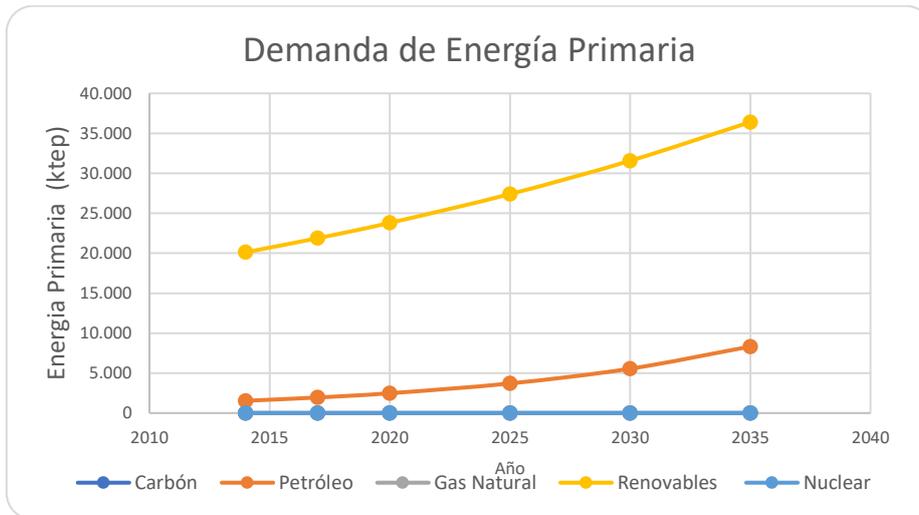


Gráfico 20: Evolución de la demanda de energía primaria en el escenario BAU

Como puede verse en el gráfico anterior, si se siguen las tendencias que se han estudiado en el pasado hasta el año 2014, y se considera que estas tendencias se van a mantener, van a seguir produciéndose los mismo hechos que se están produciendo en la actualidad. Con todo ello, puede observarse como el consumo de las renovables se incrementaría en casi el doble hasta el año 2035, alcanzando los 36.410 ktep. Si se observa en las tablas de donde provienen estos datos, puede verse como el sector doméstico ha sido el que más incrementaría su consumo en las energías renovables, mientras que la producción de electricidad con energías renovables solo se incrementaría en unos 400 ktep.

Por otro lado, puede verse como también se producirá, si se mantienen las tendencias, un aumento del consumo de petróleo importante, desde los 1.500 hasta los 8.300, debido en gran parte al aumento de la flota de vehículos de la población de la RDC, así como la existencia de motores de combustión para generación de electricidad en zonas aisladas a las que no llega la electricidad. Esto conllevará un aumento importante de las emisiones de CO₂ en la población de la RDC, hechos que se tendrán en cuenta a la hora de elaborar los escenarios sostenibles.

Esto auguraría lo que ya se ha dejado entrever en puntos anteriores, que realmente se incrementa el uso de energías renovables, pero prácticamente en condiciones de quema de leña, biocombustibles caseros, calderos etc. Todo ello puede verse en el siguiente gráfico.

- Generación de electricidad por fuente de energía.

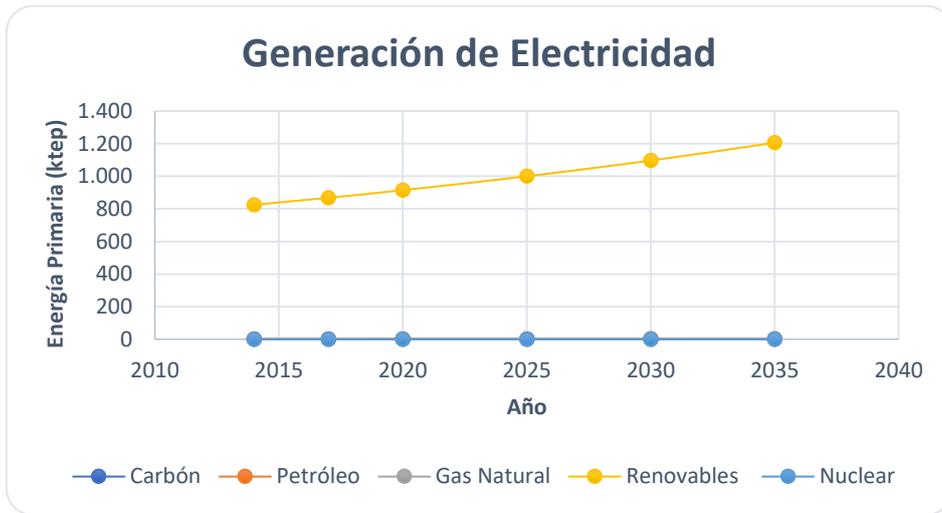


Gráfico 21: Evolución en la generación de electricidad en el Escenario BAU

La generación de electricidad simplemente se limita a las energías renovables, pero tan sólo con 400 ktep, que no serían suficientes para sufragar la demanda de electricidad en el país, ni para conseguir llevar la electricidad a una mínima parte de la población. Con las demás fuentes de energía, la generación de electricidad es prácticamente nula, limitándose básicamente a la energía hidroeléctrica.

A continuación, puede figurarse la demanda de electricidad para cada uno de los sectores.

- Demanda de electricidad por sectores.

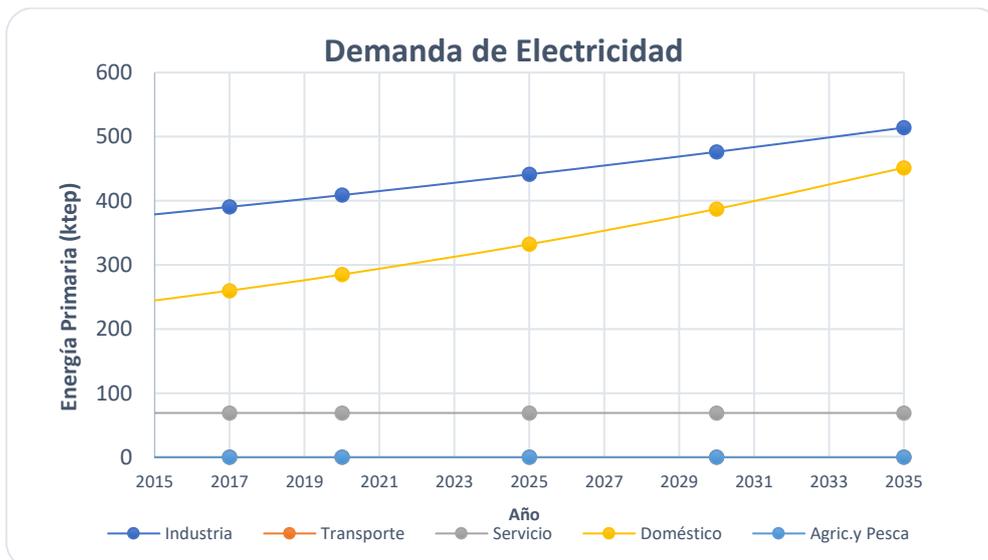


Gráfico 22: Evolución de la demanda de electricidad en el Escenario BAU

Este aumento de la demanda no es ni de lejos, la demanda real de electricidad de la población, ya que estos valores simplemente se han basado en los históricos de demanda de electricidad para cada uno de los sectores. Sin embargo, gran parte de la población, sobre todo en el sector doméstico, no cuenta con la capacidad de acceso a la electricidad, por lo que la demanda de estas personas no está contemplada en estos gráficos, y solo se limita a la demanda de electricidad de aquella parte de la población que ya tiene acceso, ya que se basa en datos históricos de consumo de electricidad en el sector doméstico.

Los únicos dos sectores que crecerían en pequeña proporción serían la industria y el sector doméstico, incrementando ambos su demanda en unos 200 ktep.

Las emisiones de CO₂ también se van a ver incrementadas con el paso de los años, debido al aumento del consumo de petróleo por la adquisición por parte de la población de vehículos propios que usan combustibles fósiles, así como la generación de electricidad mediante motores de combustión.

- Emisiones de CO₂ por sectores.

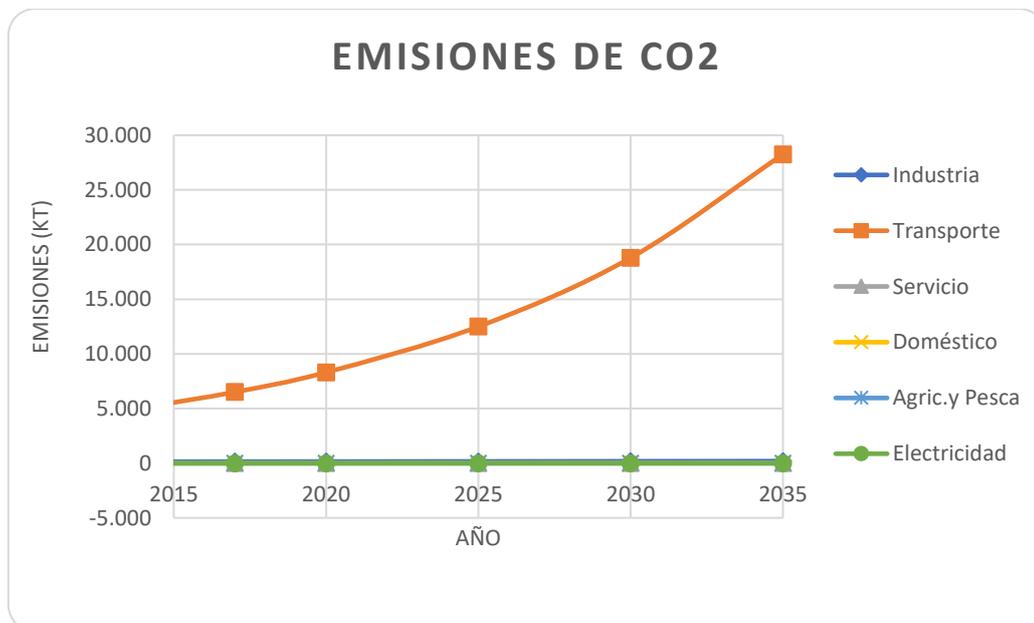


Gráfico 23: Evolución de emisiones de CO₂ por sectores en E.BAU

Como puede verse, las kilotoneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera se incrementan en un 554 %, valor que augura una contaminación excesiva. La generación de electricidad, proviene en su totalidad de energías renovables, por lo que el aumento de emisiones de CO₂ debido al aumento del consumo de electricidad no se contempla.

Ante esta situación, puede observarse que el escenario BAU sirve de base para conocer lo que puede ocurrir en un futuro cercano si no se realizan cambios en las tendencias, políticas encaminadas a cambiar estas tendencias, situaciones de guerras u otras situaciones espontáneas.

De todos estos datos obtenidos del escenario BAU se pueden obtener conclusiones varias.

- 1) Si se mantienen las tendencias, en un futuro cercano, la demanda energética principal será de tipo renovable, limitándose al sector doméstico e industrial, en mayor medida al sector doméstico.
- 2) Se producirá también un incremento importante en el consumo de combustibles derivados del petróleo, que incrementará en gran medida las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera, haciendo así un país más contaminante.
- 3) La generación de electricidad solo se incrementará con las energías renovables, básicamente de tipo hidráulicas y en pequeña medida con pequeños generadores con motores de combustión.
- 4) Analizando los datos, la generación de electricidad de tipo renovable sólo se incrementará en 400 ktep, frente a los 15.900 ktep de incremento de uso energético de las renovables no destinados a la generación de electricidad. Este dato hace ver la poca capacidad del país en generación de electricidad, así como la poca electrificación y uso de energía eléctrica actual en la RDC.
- 5) La demanda de electricidad se incrementa en torno a los 200 ktep para cada uno de los sectores, en este caso, el sector industrial y el doméstico. Como se ha descrito anteriormente, esto no augura un aumento de la capacidad de acceso a la electricidad de la población, sino un aumento de la demanda de electricidad de los que ya tienen acceso a la electricidad.

Conociendo estos datos, así como el conocimiento de la situación energética de la República Democrática del Congo, se pueden elaborar unos escenarios futuros en los que se contemplen ciertas medidas que intenten sufragar los aspectos negativos derivados del escenario BAU, y que se enfoquen en un crecimiento energético sostenible del país, tomando varias consideraciones.

2.2. Escenario Exploratorio basado en Renovables.

Una vez conocido el término de los escenarios y elaborado el escenario BAU, es hora de elaborar el escenario futuro. Este escenario, estará basado en conseguir unos hitos en el transcurso de una serie de años previamente decididos. Para la consecución de estos objetivos habrá que ir introduciendo variables que modifiquen las tendencias históricas que logren alcanzar las propuestas previas.

Para la elaboración de un escenario futuro creado a conciencia, será necesario definir el problema y su horizonte temporal, identificando las hipótesis y decisiones que han de adoptarse.

Habrà que recopilar información, opiniones de expertos, textos científicos, datos históricos de otras situaciones similares, casos de éxito, etc. De este modo se puede construir un sistema coherente que incluya todos los actores y agentes implicados, incluyendo las relaciones, tanto cualitativas como cuantitativas entre los mismos.

Un claro ejemplo de este tipo de escenarios son los que se han creado en fechas recientes para el cumplimiento del horizonte 20/20/20. En este caso se establecieron unas bases a cumplir por los países miembros de la Unión Europea, para hacer frente a la problemática del calentamiento global y tratar de mitigar los efectos de este calentamiento. En este caso se pusieron los siguientes hitos:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 % para el año 2.020 respecto a niveles del año 1.990

- Ahorrar en un 20 % el consumo de energía primaria
- Conseguir una aportación de las energías renovables de un 20 % en el consumo de energía primaria.

Para ello se han elaborado en los distintos países escenarios BAU, con el fin de conocer la situación energética para el año 2020 y conocer si se lograrían esos objetivos. Una vez conocida la situación energética para ese año se elaborarían escenarios futuros en los que se introducirían hechos y acontecimientos que hicieran lograr esos hitos para el año 2020.

Cabe comentar también que estos 3 hitos han surgido de un escenario BAU a nivel mundial que mostraba un continuo crecimiento de las emisiones de CO₂ incontroladas, así como un aumento de la demanda energética, y que serían necesarias actuaciones en materia de eficiencia energética para lograr los hitos que se propusieran tras ese escenario BAU, que son los 3 que se han nombrado anteriormente.

En este sentido se crean los escenarios futuros, en los que se combinan distintos elementos, como una mayor introducción del coche eléctrico, mayor generación de energía eléctrica mediante renovables, inserción del uso de biocombustibles, etc. Con ello se simularían los escenarios viendo el resultado de los mismos y así proceder a realizar el que más interese.

Anteriormente, para la República Democrática del Congo, se ha realizado un escenario BAU, que ha mostrado una serie de efectos negativos. En este sentido se va a crear un escenario futuro desde un punto de vista real que intente subsanar los problemas energéticos que residen en la RDC y ver a qué situación puede llegarse en unos años cercanos. Es por ello que se ha realizado el mismo estudio que para el caso del escenario BAU, pero introduciendo variantes como la mayoración de la generación de energía eléctrica que sean capaces de hacer cumplir a la RDC sus objetivos.

2.2.1. Escenario futuro basado en renovables en la RDC.

A continuación, se presenta el escenario futuro creado para la república Democrática del Congo.

Al igual que se ha realizado para el caso del escenario BAU, primeramente hay que utilizar las tendencias energéticas de la RDC llegando a la situación del año 2014 que es el último año del que se tiene información energética y se obtienen los siguientes resultados.

DATOS PARA EL AÑO 2014									
SECTOR		Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Industria	ktep	373	0	39	0	2.958	0	3.370	16
	%	11	0	1	0	88	0		
Transporte	ktep	0	0	1.490	0	0	0	1.490	7
	%	0	0	100	0	0	0		
Servicios	ktep	69	0	0	0	0	0	69	0
	%	100	0	0	0	0	0		
Doméstico	ktep	237	0	3	0	16.340	0	16.580	77
	%	1	0	0	0	99	0		
Agríc. Y Pesca	ktep	0	0	0	0	0	0	0	0
	%	0	0	0	0	0	0		

DATOS PARA EL AÑO 2014									
SECTOR		Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Gen. Electricidad	ktep		0	1	2	825	0	828	
	%		0	0	0	100	0		

Tabla 10: Datos de consumo energético para el año 2014 por sectores

DATOS PARA EL AÑO 2014								
ITEMS	Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	%
Total fuente	679	0	1.533	2	20.123	0		
Saldo eléctrico	-92							
Electricidad generada	771							
Total E.Primaria							21.566	
	0	0	7	0	93	0		
Total E. final							21.509	

Tabla 11: Resumen situación energética para el año 2014

Una vez que se tienen claros los datos energéticos para el último año del que se tienen datos así como se disponen los ritmos de crecimiento, estos se usarán con las fórmulas anteriormente vistas para predecir los valores futuros. Se va a proceder primero a calcular los datos del año 2.015.

- Año 2.015

Primeramente, se calcula el crecimiento que se va a tener en el rango de ese año, presentándose los siguientes ritmos de crecimiento para ese año.

ITEMS	Población	PIB	Industria	Transporte	Servicios	Doméstico	Agríc.y pesca
Ritmo anual crecimiento	3,1	0,7	1,5	8,5	0,0	3,1	0,0
Total crecimiento para el periodo	1,031	1,007	1,015	1,085	1,000	1,031	1,000
Total	77,20	28					

Tabla 12: Ritmos anuales de crecimiento de los sectores hasta el año 2015.

A continuación, se ha calculado el nuevo total de ktep para cada uno de los sectores, sumándole al anterior valor que se tenía para el año 2014, el tanto por ciento que se incrementa por el ritmo de crecimiento. De este modo se tiene un nuevo valor que se distribuirá por fuentes de energía con los mismos porcentajes que antes se tenían, que no varían. Es decir, por ejemplo, en Industria, la electricidad seguirá siendo el 11 % del consumo de energía para este sector.

Una vez ya conocidos los datos para el año 2.015, al igual que se ha realizado para el escenario BAU, hay que introducir las variaciones que se han estimado. Las variaciones que se van a introducir en el caso de la RDC son las siguientes.

1. Generación de energía eléctrica extra en cada uno de los sectores
2. Aumento del consumo de renovables para generación eléctrica.
3. Disminución del uso de renovables en los sectores a favor de la generación eléctrica.

El punto 3 está referido a la disminución del uso de renovables en los sectores económicos, refiriéndose sobre todo a la disminución del uso de biomasa forestal para calefacción, cocina y otros procesos en favor del uso de la electricidad.

Estas variables a introducir van a depender de los objetivos finales que se quieren conseguir. El objetivo principal que se quiere conseguir para el año 2.035 consiste en la ejecución de un 100 % del suministro eléctrico a toda la población. Actualmente se generan 828 ktep en generación de energía eléctrica frente a los 24.343,2 ktep que serían necesarios para suplir el 100 % de la demanda. Es por ello que hay que aumentar un 40 % la generación de electricidad año a año en un periodo de 21 años, es decir, desde el año 2.014 al año 2.035.

De este modo, en un año habría que incrementar en 1159,2 ktep en generación eléctrica que ha sido distribuido proporcionalmente en cada uno de los sectores. Concretamente un 35 % de esta generación se generará para la industria, un 4% para el sector servicios, un 60 % para el sector doméstico y un 1% para la agricultura y pesca.

Otra variable que se ha introducido consiste en la introducción de utilización de biocombustibles en detrimento de los combustibles fósiles como el gasoil.

Tanto en la industria como en el sector doméstico se ha procedido a decrementar las energías renovables a favor de la energía eléctrica, ya que actualmente, este mayor consumo de energías renovables es debido al uso de leña principalmente.

De este modo, al introducir estas variables, los porcentajes de consumo por fuente energética para cada sector van variando a lo largo de los años, obteniéndose la siguiente tabla para el año 2.015 y los siguientes resultados.

SECTOR		Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total	Total a generar en Electricidad (ktep)
Industria	ktep	782	0	34	0	2.831	0	3.422	405,7
	%	11	0	1	0	88	0		
	% Real	21	0	1	0	78	0		
Transporte	ktep	0	0	1.503	0	113	0	1.617	-
	%	0	0	100	0	0	0		
	% Real	0	0	93	0	7	0		
Servicio	ktep	115	0	0	0	0	0	69	46,4
	%	100	0	0	0	0	0		
	% Real	100	0	0	0	0	0		
Doméstico	ktep	940	0	3	0	16.428	0	17.097	695,5
	%	1	0	0	0	99	0		
	% Real	5	0	0	0	95	0		
Agric.y Pesca	ktep	12	0	0	0	0	0	0	11,6
	%	0	0	0	0	0	0		
	% Real	100	0	0	0	0	0		
Gen. Electricidad	ktep		0	1	2	2.081	0	2.084	1.159,2
	%		0,00	0,05	0,10	99,86	0,00		
Total fuente	ktep	1.849	0	1.542	2	21.453	0	---	---

Tabla 13: Características para el año 2.015

En la anterior tabla, los elementos en rojo han sido los valores que han cambiado respecto a los valores originales del Escenario BAU. Como puede verse, han cambiado los nuevos porcentajes de distribución de consumos por fuente energética, los ktep de generación de electricidad, el consumo de electricidad en cada uno de los sectores y el uso de energías renovables en el sector doméstico, industria y transporte.

En este sentido para el año 2.035 se tienen los siguientes resultados finales.

SITUACIÓN AÑO 2.035 EN UN ESCENARIO FUTURO							
ITEMS	Electricidad	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Nuclear	Total
Total fuente	26.619,64	0,00	3.104,70	2,00	60.063	0,00	-
Saldo eléctrico	-92,00	-	-	-	-	-	-
Electricidad generada	26.711,64	-	-	-	-	-	-
Total E.Primaria	-	-	-	-	-	-	63.077,76
Total E.Final	-	-	-	-	-	-	52.749,62

Tabla 14: Situación año 2.035 en un Escenario Futuro

Finalmente se han generado 26.711,64 ktep frente a los 24.343,2 ktep que eran necesarios para suplir el 100 % de la demanda de energía eléctrica. Quizás, estos 26.711,64 ktep sean del todo necesarios, ya que, ante el aumento de generación de electricidad se produce un desarrollo industrial y social de la población que puede provocar un aumento mayor del uso de energía eléctrica todavía si cabe.

De este modo, se obtienen los siguientes resultados energético finales.

- Demanda de energía primaria.

año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Nuclear
2014	0	1.533	2	20.123	0
2017	0	1.562	2	24.380	0
2020	0	1.577	2	28.832	0
2025	0	1.546	2	37.205	0
2030	0	2.192	2	52.033	0
2035	0	3.105	2	60.063	0

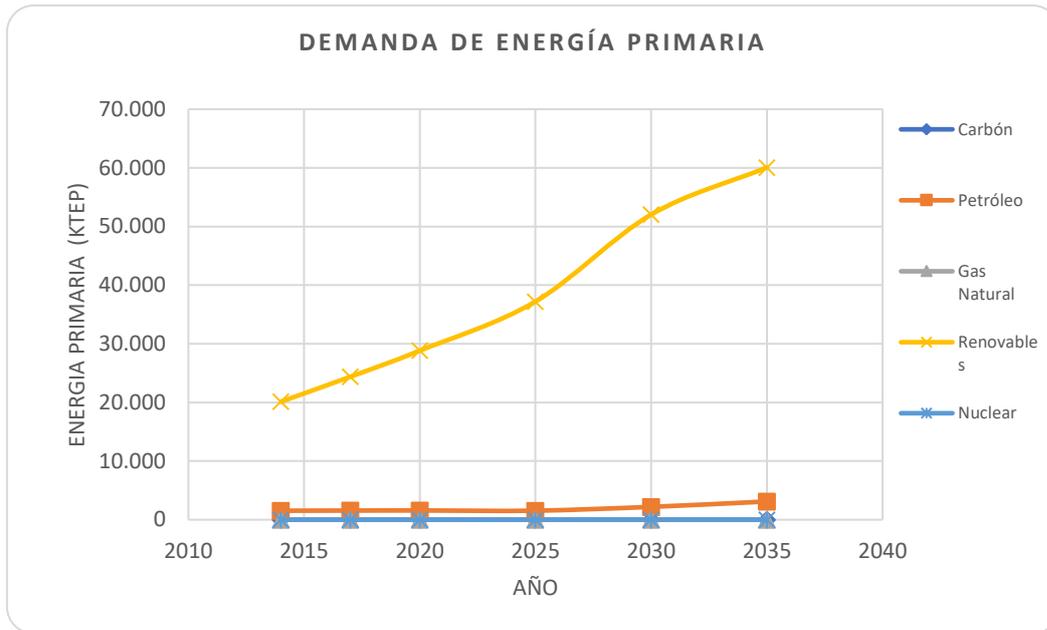


Gráfico 24: Demanda de energía primaria en un escenario futuro

- Demanda de electricidad.

año	Demanda	Saldo	Generación
2014	679	-92	771
2017	4.251	-92	4.343
2020	8.035	0	1.577
2025	14.843	-92	14.935
2030	22.536	-92	22.628
2035	26.620	-92	26.712

Tabla 15: Demanda de electricidad en un escenario Futuro

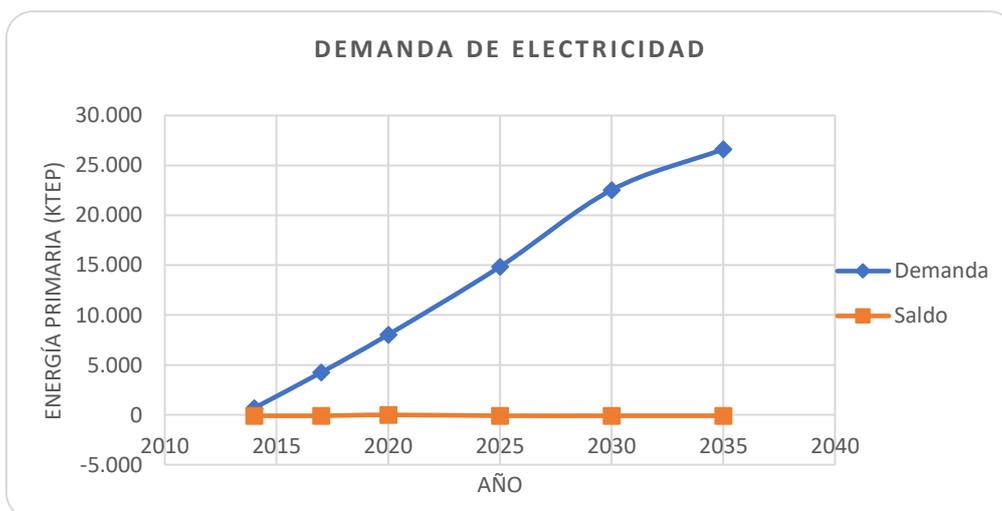


Gráfico 25: Demanda de electricidad en un escenario Futuro

- Demanda de electricidad por sectores

	2014	2017	2020	2025	2030	2035
Industria	373	1.618	2.911	5.170	6.740	7.079
Transporte	0	0	0	0	0	0
Servicio	69	208	382	672	1.251	1.251
Doméstico	237	2.390	4.708	8.966	14.510	18.254
Agric.y Pesca	0	35	35	35	35	35

Tabla 16: Demanda de electricidad por sectores

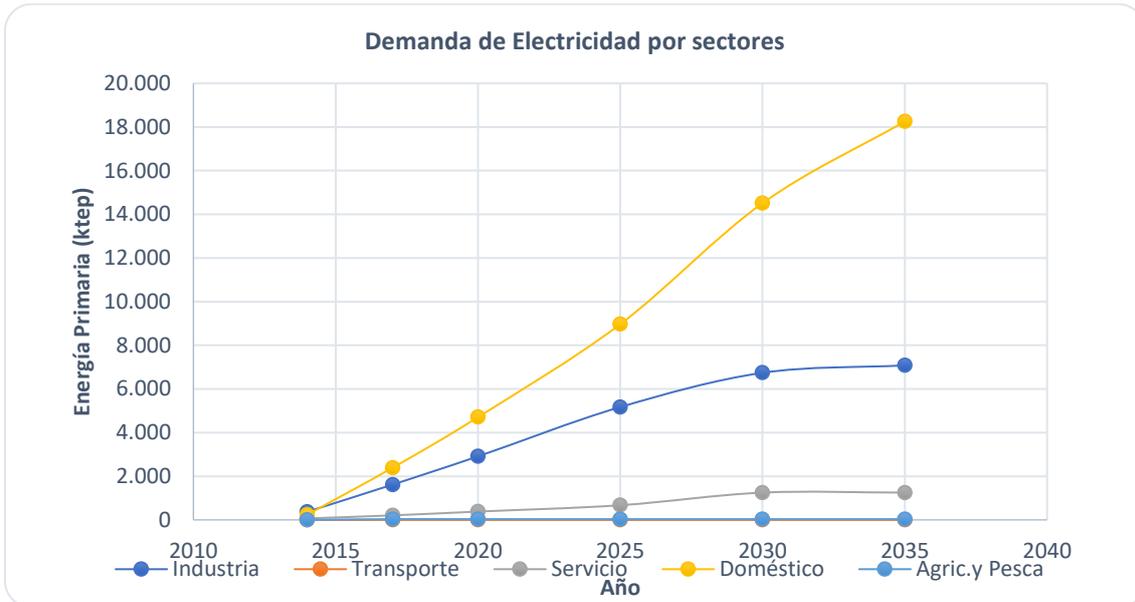


Gráfico 26: Demanda de electricidad por sectores

- Generación de electricidad

año	Carbón	Petróleo	Gas Natural	Renovables	Nuclear
2014	0	1	2	825	0
2017	0	1	2	4.661	0
2020	0	1	2	8.725	0
2025	0	1	2	16.036	0
2030	0	1	2	24.298	0
2035	0	1	2	28.683	0

Tabla 17: Generación de electricidad en un escenario Futuro

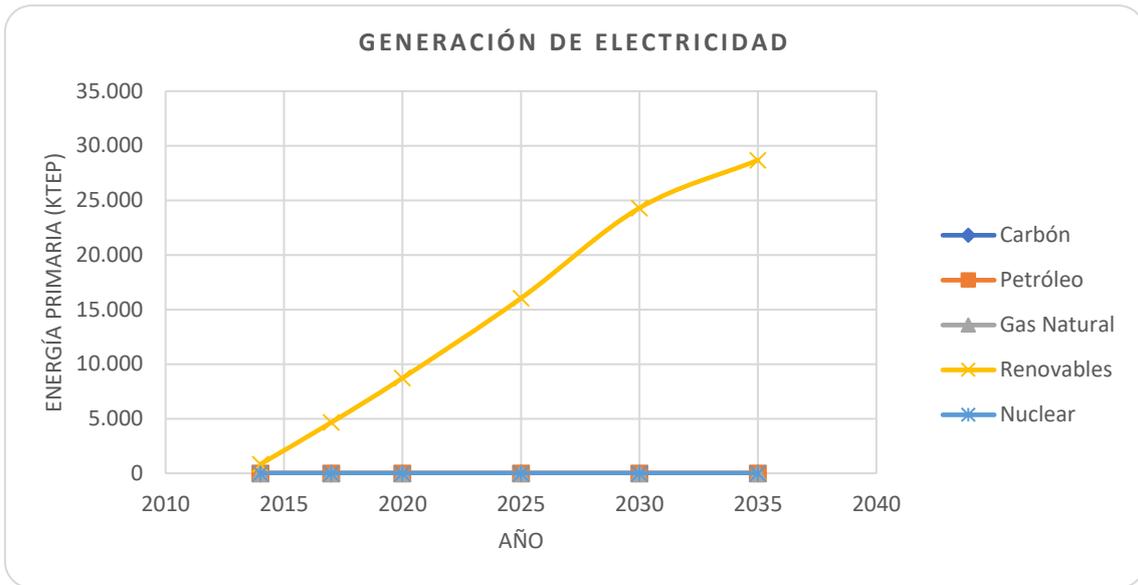


Gráfico 27: Generación de electricidad en un escenario futuro

- Emisiones de CO2.

año	Saldo elect.	Carbón	Petróleo	Gas Natural
2014	-26	0	5.248	8
2017	-26	0	5.345	8
2020	-26	0	5.398	5
2025	-26	0	5.292	8
2030	-26	0	7.503	8
2035	-26	0	10.623	8

Tabla 18: Emisiones de CO2

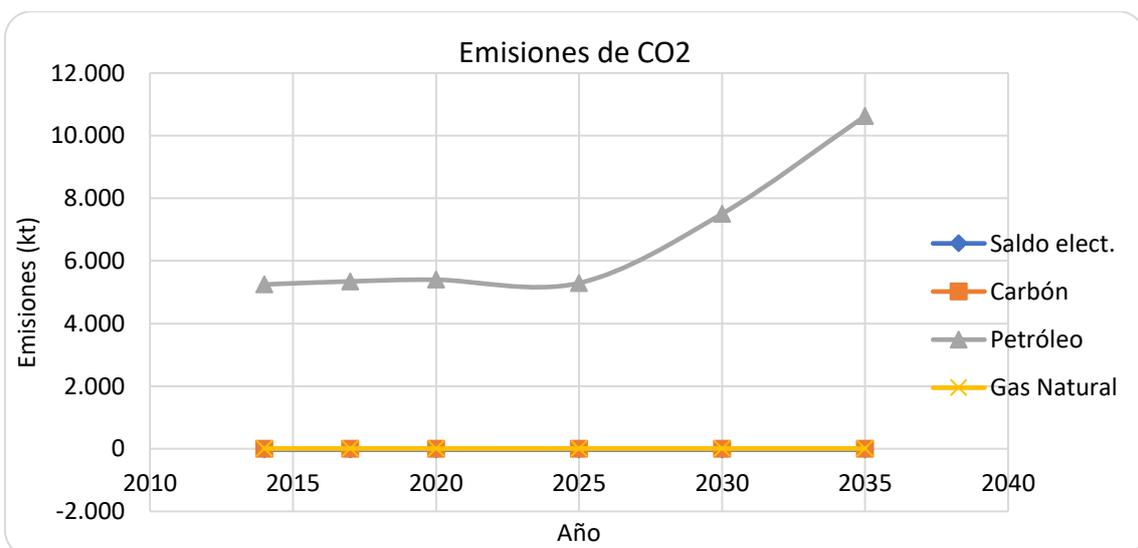


Gráfico 28: Emisiones de CO2

- Emisiones de CO2 por sectores.

	2014	2017	2020	2025	2030	2035
Industria	138	125	130	141	152	133
Transporte	5.096	5.205	5.252	5.132	7.330	10.469
Servicio	0	0	0	0	0	0
Doméstico	11	12	13	15	17	17
Agríc.y Pesca	0	0	0	0	0	0
Electricidad	-14	-14	9	-14	-14	-14

Tabla 19: Emisiones de CO2 por sectores en un escenario futuro

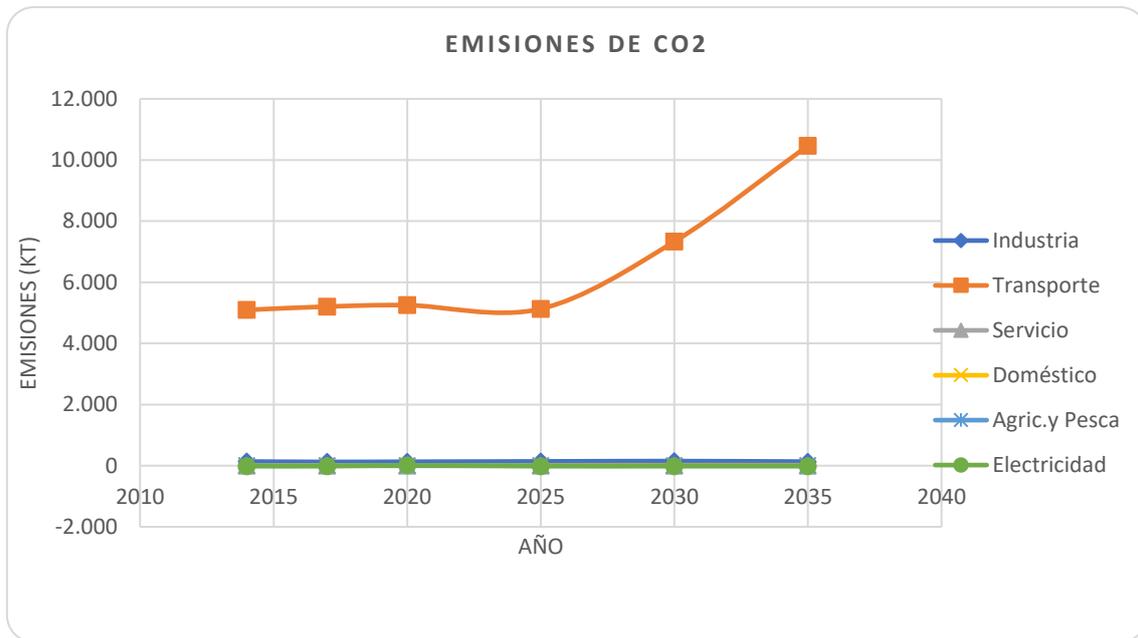


Gráfico 29: Emisiones de CO2 por sectores en un escenario futuro

- Evolución de indicadores

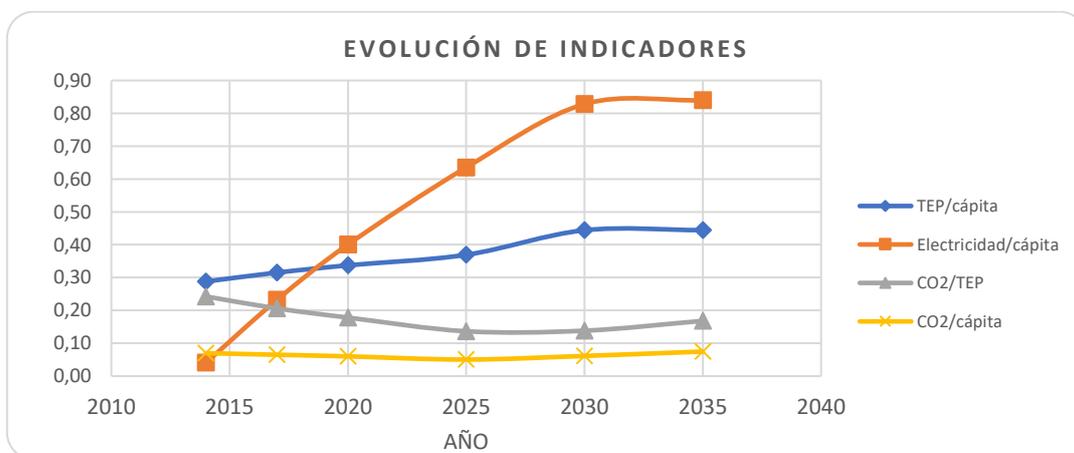


Gráfico 30: Evolución de indicadores en un escenario futuro

Si se quiere conseguir los objetivos propuestos de un total acceso a la electricidad para el año 2.035, como muestran las gráficas, se necesitan resultados muy optimistas, ya que por ejemplo, la demanda de energía primaria en energías renovables tendría que incrementar desde los 20.000 ktep a 60.000 ktep, justamente el triple que el valor actual. La demanda de electricidad se incrementaría desde 679 a 26.620 ktep, que como se observa, es un incremento bastante grande.

En el sector en el que más se incrementaría el consumo de electricidad sería en el sector doméstico junto con la industria y parte del sector servicios. Los hospitales y centros de sanidad se han incluido en el sector industrial.

La generación de electricidad tendría que incrementarse de 827 ktep a 28.863 ktep. Este incremento al igual que la demanda de electricidad es grandísimo y hace que sea un valor muy optimista. Las emisiones de CO₂ se incrementarán debido al consumo de petróleo por un mayor poder adquisitivo de la población y por consiguiente un mayor número de medios de transporte.

En cuanto a los indicadores, los tep per cápita, prácticamente se mantienen iguales, al igual que las emisiones de CO₂ por habitante. Se incrementaría sin embargo, la electricidad usada por habitante llegando hasta el punto, es decir que toda la población tenga acceso a la electricidad.

2.3. Conclusiones energéticas.

En conclusión, se puede extraer que hay un gran potencial energético renovable en todas las regiones de la República Democrática del Congo, unas en mayor medida que otras. Está claro que todas cuentan con unos recursos hídricos importantes que pueden aprovecharse en mayor medida de lo que se está realizando en la actualidad.

Actualmente, la producción de energía eléctrica está muy centralizada en ciertos lugares estratégicos y no ayuda al desarrollo local, ya que solo favorece a grandes industrias mineras y grandes ciudades. Es necesario una gran remodelación energética que acerque la energía eléctrica a las pequeñas ciudades, villas y aldeas, para así satisfacer las necesidades energéticas de estas. Esto mejoraría la calidad de vida de estas personas, ayudándolas a llevar una mejor vida, a desarrollar mejor sus actividades económicas, a potenciar la economía de los lugares y fomentar la instalación de nuevas actividades industriales que incentiven la economía de la zona.

Actualmente sólo un 10 % de la población tiene acceso a la electricidad con una dependencia muy grande de la biomasa forestal como se ha podido ver, que supone un problema debido a la tala descontrolada de árboles en busca de madera, para satisfacer las necesidades energéticas de primera necesidad, como son el cocinar, el calentarse con estufas y otras parecidas. Las necesidades energéticas contando con todas las zonas rurales suelen ser entre 3-10 veces superior a las que actualmente se disponen, habiendo una brecha de unos 2.930 MW para cubrir las necesidades energéticas de los hogares.

Para dar acceso a la electricidad a todas estas pequeñas villas y zonas rurales los sistemas híbridos renovables pueden llegar a jugar un papel muy importante para la descentralización de la energía y la capacidad de mantenimiento y acceso de la energía eléctrica a todos.

Estos sistemas a pequeña escala no requieren una gran electrificación, ya que puede generarse la electricidad lo más cerca posible de las zonas rurales, además todas las regiones del país están capacitadas como para instalar pequeñas centrales de generación eléctrica basadas en distintas tecnologías de aprovechamiento. Sin embargo, una generación eléctrica centralizada dificulta el acceso de la energía eléctrica a estas zonas, que se encuentran en sitios recónditos, donde hay que desarrollar unas líneas eléctricas grandes y costosas.

Los beneficios de acercamiento energético a la población son muy grandes. A continuación, se detalla un listado de algunos de los beneficios que presenta el acercamiento de la energía eléctrica a las zonas que no cuentan con ella.

Este acceso facilita el desarrollo de las empresas en la zona, creando ingresos, aumento de la productividad de la industria presente. Si se hace a pequeña escala con sistemas híbridos se pueden crear puestos de trabajo locales en comercios, así como nuevos puestos de trabajo de mantenimiento energético. Estas fuentes de energía limpia y eficiente pueden ayudar a reducir los ingresos de la población en los gastos para cocinar, consumo de electricidad o calefacción, ya que las familias pobres son las que más pagan proporcionalmente por los servicios básicos en las zonas urbanas.

Estas nuevas formas de energía ayudan a la población, sobre todo a los niños a las dificultades que se enfrentan diariamente en la búsqueda de madera o agua de pozos con el bombeo manual.

Además, la electricidad va a permitir el acceso a la educación y medios de comunicación y nuevas tecnologías, ofreciendo así una oportunidad para la educación y el aprendizaje.

La electrificación de zonas rurales va a contribuir a reducir la contaminación atmosférica debido a las fuentes de energía tradicionales, ayudar a la población a no sufrir malestares debido a la carga de madera y agua, mejora en las instalaciones de los servicios médicos, debido a la refrigeración de medicamentos, esterilización o equipos médicos electrónicos.

En general la calidad de vida de las personas se va a ver incrementada en un gran orden.

En este sentido los sistemas híbridos de generación renovable son una solución tanto en cuanto se pueden combinar distintos sistemas de generación eléctrica que solventarían entre ellos la falta de energía cuando una de las fuentes escasea.

A continuación, a modo de resumen se muestra una tabla resumen de la comparación entre los puntos más importantes del escenario BAU y el escenario futuro y los objetivos a lograr.

- Generación de electricidad.

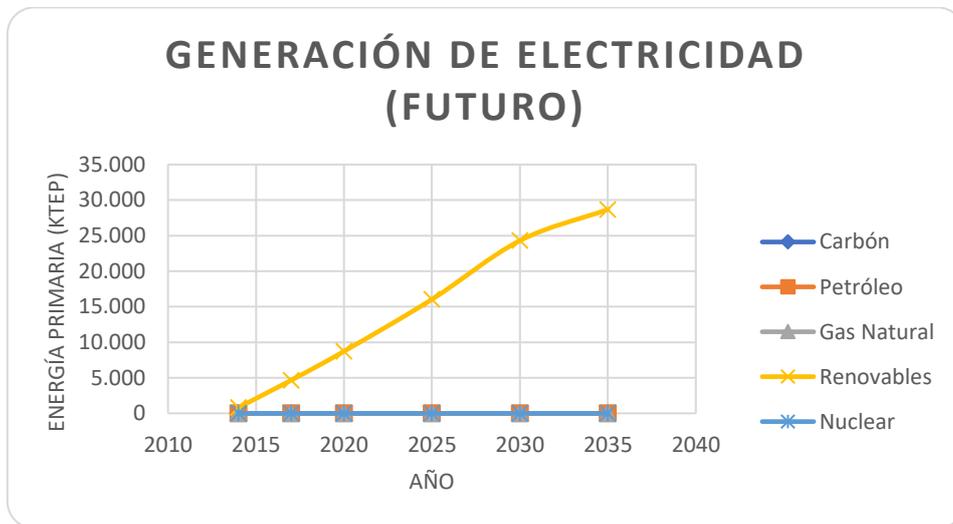
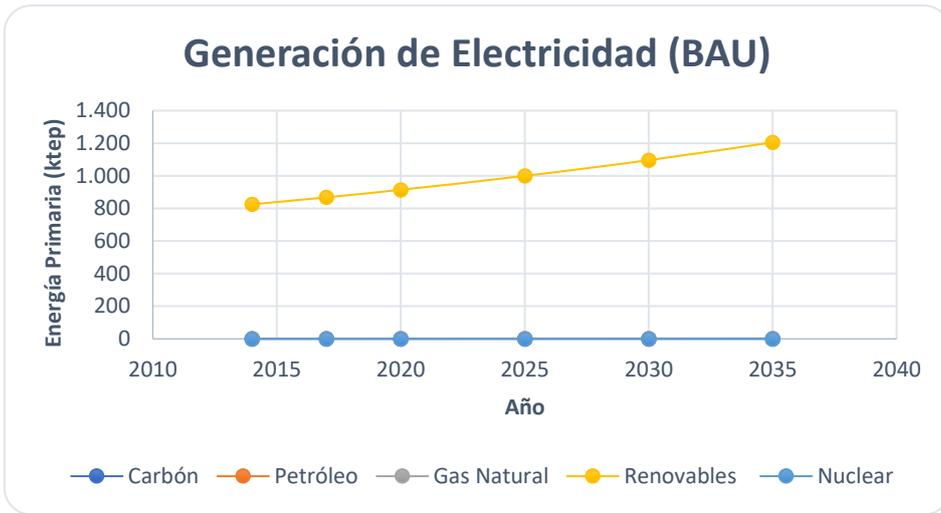
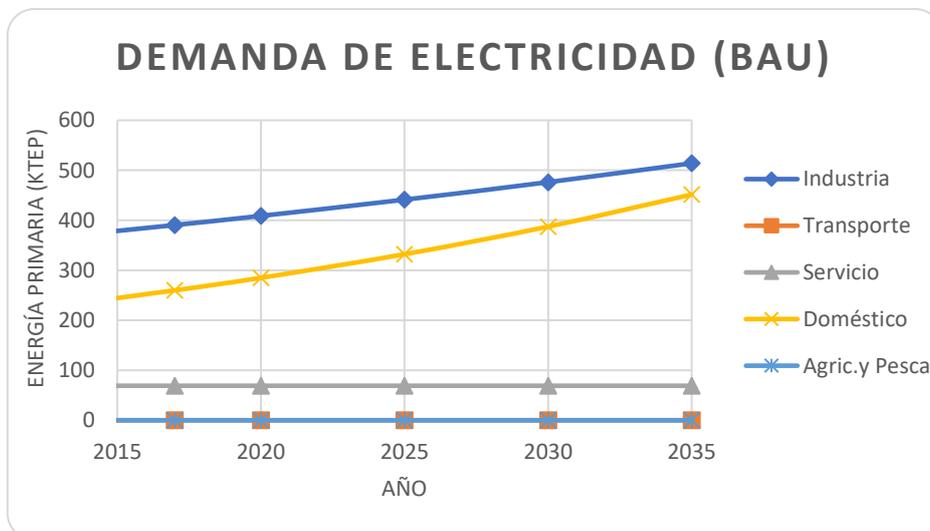


Gráfico 31: Comparación Generación de electricidad BAU y Futuro

- Demanda de electricidad por sectores.



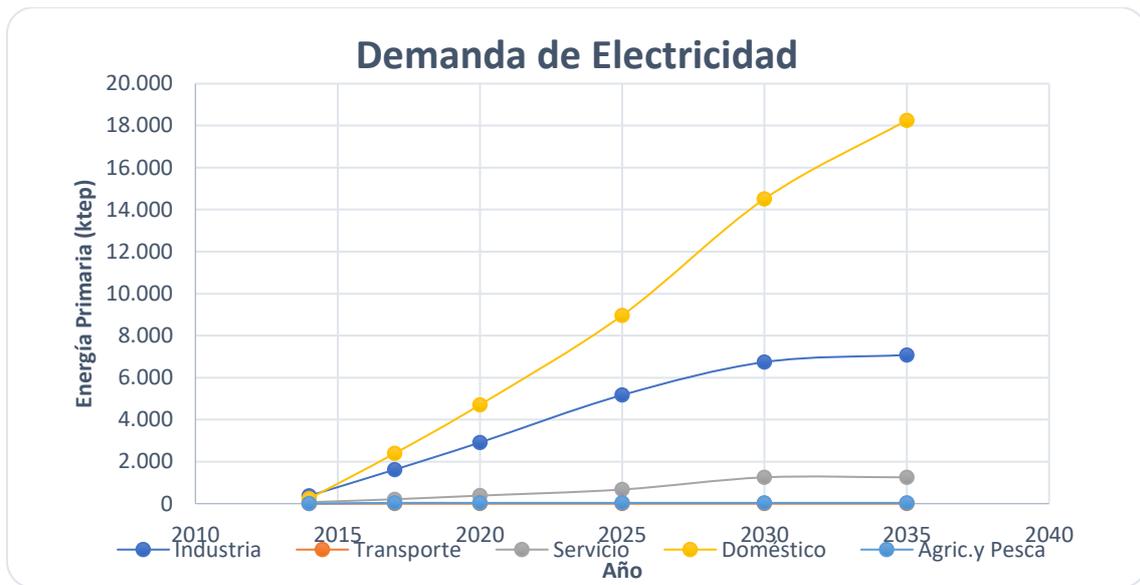


Gráfico 32: Comparación demanda de electricidad por sectores BAU y Futuro

Como puede visualizarse en los gráficos, los aumentos tanto en generación de electricidad como en demanda por sectores son muy importantes para todos los sectores.

PARTE 2: Análisis micro – energético.

3. ANÁLISIS MICRO-ENERGÉTICO EN LA REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO.

3.1. Consideraciones previas

Como ya ha sido comentado con anterioridad, La RDC cuenta con un gran potencial de energías renovables y recursos energéticos sin explotar. Hay muchas villas rurales en toda la extensión del país a las que todavía no han llegado las redes eléctricas presentes en el país y por consiguiente no tienen acceso a la electricidad.

Al carecer de este acceso a la electricidad estas poblaciones no pueden realizar un desarrollo económico y social en condiciones y sus formas de vida se encuentran considerablemente limitadas a la forma de energía que tienen actualmente, basada principalmente en la quema de madera y residuos agrícolas.

La generación de electricidad a gran escala tiene sus limitaciones a la hora de transportar la electricidad en un país tan extenso como pueda ser la RDC. Grandes infraestructuras de transporte eléctrico a gran escala, es decir a alto voltaje son necesarias. Esto supondría un desembolso bastante grande, junto con la necesaria posterior generación de energía que actualmente es deficitaria frente a la demanda actual.

De este modo hay 2 problemas principales.

Faltan MW eléctricos por generar para suplir la demanda

Redes eléctricas deficitarias.

Es decir, no solo es necesario ampliar extensamente la red de distribución eléctrica si no que es necesario del mismo modo aumentar la generación de energía eléctrica.

Actualmente se encuentra en proyecto la creación de INGA III, una de las mayores centrales hidroeléctricas jamás construidas, con una potencia de generación sumamente grande, que puede suplir gran parte de la demanda del país. A pesar de ello, la creación de redes eléctricas es necesaria para poder llevar la energía eléctrica a todos los rincones del país.

Por otro lado, la generación a gran escala y uso de redes eléctricas no garantiza el total suministro a todas las regiones del país.

De este modo, como alternativa a la generación a gran escala, que tiene estos dos principales problemas aparecen los sistemas de generación de energía eléctrica renovable híbridos que aprovechan todos los recursos existentes en una zona, en contraposición con las grandes centrales que solo se focalizan en determinados lugares, y por consiguiente ayudan a acercar la energía eléctrica a la población más aislada. Además, estos sistemas híbridos ayudarán a la población rural a tener la energía más cercana, favorecer el autoconsumo para poder hacer frente al pago de facturas eléctricas. Esto ayudará a la población local a familiarizarse con la producción de energía eléctrica y con las nuevas tecnologías, provocando de este modo un avance en la mentalidad de la población y desarrollo cultural. Esto va a ayudar también a que la gente observe el potencial energético y limpio de la naturaleza y se conciencie con las energías renovables como desarrollo sostenible mundial.

En apartados anteriores se ha mostrado el potencial energético con el que cuentan cada una de las regiones. Cada una de ellas muestra unas características distintas en cuanto a tipo de potencial industrial y económico hasta las características de aprovechamiento energéticas de estas regiones.

Los sistemas híbridos de generación renovable van a ser distintos en una región y otra, puesto que hay regiones que tienen más sol que otras y otras que cuentan con menos horas de sol y más capacidad hidráulica o similar. En este sentido a la hora de realizar una instalación híbrida de generación renovable hay que tener en cuenta el potencial energético de la zona para dimensionar de forma correcta la instalación.

Por ello se han clasificado las regiones por tipo de potencial energético similar o por tipo de economía, ya que se puede encontrar un total de 11 regiones en la RDC, algunas de ellas similares entre sí. A continuación, se explicará el porqué del agrupamiento realizado y las consecuentes variables que se van a tener en cuenta a la hora de realizar las distintas simulaciones.

El principal motivo para la agrupación se ha basado en condiciones climatológicas y de aprovechamiento por tipo de energía renovable.

En total se ha realizado una agrupación en cinco tipos distintos de territorios que presentan características similares. De las 11 regiones con las que cuenta la RDC se han realizado las siguientes clasificaciones:

- Bandundu , Provincia Oriental:

Las tres regiones presenten una gran capacidad para la instalación de pequeña hidráulica, un nulo potencial eólico, un buen potencial solar para la instalación fotovoltaica y una gran capacidad de desechos agrícolas y forestales para la instalación de gasificadores de biomasa. Tanto la provincia oriental como la provincia de Bandundu basan su economía en la agricultura y algo de minería e industria manufacturera en la provincia oriental, mientras que Katanga presenta una industria minera muy potente.

- Katanga:

La Región de Bajo Congo se va a analizar por separado puesto que no se ha encontrado ninguna que compartiera las características parecidas a estas. En esta Región se encuentra mucho potencial hidroeléctrico, sobre todo a gran escala con la posible central hidroeléctrica INGA III. El potencial solar es suficientemente bueno como para el aprovechamiento de la fotovoltaica. El potencial eólico es bueno con vientos superiores a los 6 m/s y un potencial de biomasa a partir de residuos agrícolas y forestales muy grandes. Se podría decir que es el lugar ideal para la instalación de sistemas híbridos renovables.

La principal actividad industrial de esta Región es la agropastoral, agroalimentaria y algo de industria extractiva de forma artesanal.

Del mismo modo ocurre con Katanga, que es la región idónea para la utilización de los sistemas híbridos renovable y que no comparte ninguna característica con ninguna región.

- Ecuador, Kasai Occidental, Kasai Oriental:

Estas regiones cuentan con un potencial para la instalación de pequeña hidráulica limitado a unas lluvias irregulares o poca cantidad de orografía aprovechable como es el caso de la zona del ecuador en la que los saltos de agua son muy pequeños. La explotación solar fotovoltaica es similar en las 3 regiones con una irradiación aproximada de 5,5 kWh/m²/año. El potencial eólico es prácticamente nulo para su aprovechamiento en la producción de energía eléctrica. Las 3 regiones cuentan con unos desechos agrícolas más que suficientes para la utilización de los mismos en gasificadores para generación eléctrica. La región del ecuador se limita a la producción de café, cacao, caucho o aceite de palma entre otros, así como a la explotación de productos forestales, maderables así como la agricultura sostenible. Kasai Occidental es una región dedicada a la agricultura con grandes zonas de vegetación y una gran cantidad de residuos animales. Kasai Oriental es una región basada en el comercio y minería de diamante y un abandono de las instalaciones agrícolas.

- Kinshasa:

Esta región es la región donde se concentra todo el pulmón económico del país junto con la capital de la RDC. En sus zonas más rurales la población se dedica a la agricultura, producción de agua potable y una industria mayor que en otras regiones.

En esta región se encuentra poco potencial hidroeléctrico, ya que está ampliamente explotado con un potencial solar regular y una energía eólica prácticamente nula. La generación de energía puede provenir del biogás generado por los residuos sólidos urbanos.

- Maniema, Kivu Norte, Kivu Sur y Bajo Congo:

Estas regiones cuentan con un potencial hidráulico importante, una irradiación más que suficiente para la generación de energía eléctrica a través de la fotovoltaica, un potencial eólico prácticamente nulo y unos desechos agrícolas y forestales no muy grandes. La economía de estas regiones se basa principalmente en las explotaciones agrícolas, ganaderas y forestales y la minería artesanal. La industria se basa principalmente en pequeñas fábricas de trata del ganado o manufacturas.

Con todo ello consultando el Atlas Energético que se realizó para la RDC se puede encontrar para cada una de las regiones pequeños territorios en los que se puede encontrar información de la población presente en esos territorios, tipo de edificios públicos así como la información de demanda de la industria presente en ese lugar, la demanda a nivel doméstico y la demanda a nivel de consumo públicos. Además, también se muestra información del recurso hídrico de la zona y la capacidad de aprovechamiento del mismo.

Todo ello servirá para recopilar información necesaria a la hora de realizar la simulación del sistema híbrido renovable en el programa de cálculo HOMER.

Se va a realizar pues una simulación energética para cada una de las distintas agrupaciones de regiones.

3.2. Simulaciones

3.2.1. Regiones tipo 1

La primera agrupación de regiones se trata de Bandundu y Provincia Oriental. Estas regiones como se ha comentado anteriormente, son regiones que cuentan con un gran potencial para energía minihidráulica, fotovoltaica y una gran cantidad de desechos agrícolas, con un territorio en cada una de las regiones que supera los 700 GWh/año.

Se ha buscado pues una situación y una población común donde llevar a cabo la instalación de generación de energía eléctrica. La mayoría de las poblaciones o asentamientos se encuentran en las orillas de los ríos existentes en cada una de estas tres regiones por lo que la posibilidad de la existencia de la energía hidráulica es factible.

Cabe comentar que, de las 2 regiones, Provincia Oriental es la que se presenta un mayor número de horas de sol y radiación solar incidente, y que por consiguiente se ha realizado el estudio en una población de Bandundu, por ser más restrictivo.

Concretamente el estudio de viabilidad se va a realizar sobre el la Región de Fatundu, en una población que todavía no se encuentra electrificada y que cuenta con las siguientes características.

Ciudad de Bagata	
Habitantes	37.374
Número de hogares	6.229

Tabla 20: Características ciudad de Bagata

En cuanto a las actividades socio-económicas, esta región se basa en la agricultura de Yuca, maíz y grano así como la ganadería ovina, bobina o porcina.

En la población puede encontrarse un hospital, un centro de salud, una escuela primaria, secundaria y un instituto superior. De esta forma se demanda la siguiente potencia.

Potencia a nivel industrial	kW
Molinos	80
Desgranadoras	80
Mataderos	10
Cámaras de frío	120
Bombeo de agua	100
Pequeña artesanía	30

Potencia a nivel industrial	kW
Aserraderos	150
Carpintería	50
Molinos de aceite	50
Fábricas de Jabón	60
TOTAL	730

Tabla 21: Demanda de potencia a nivel industrial en Bagata

En cuanto a la potencia de los hogares la misma se cifra en 1.587,15 kW y el alumbrado público se cifra en 20 kW. Esto hace que la potencia total demandada en la población ascienda a 2.237 kW.

A continuación, se ha realizado una combinación de una curva de demanda de tipo doméstica diaria con una de actividad industrial y otra sector servicios para obtener la siguiente curva de carga diaria, cuyo pico de potencia se cifra en 1.955 kW. A continuación se presenta la curva de carga resultante y la resultante ya introducida en HOMER.

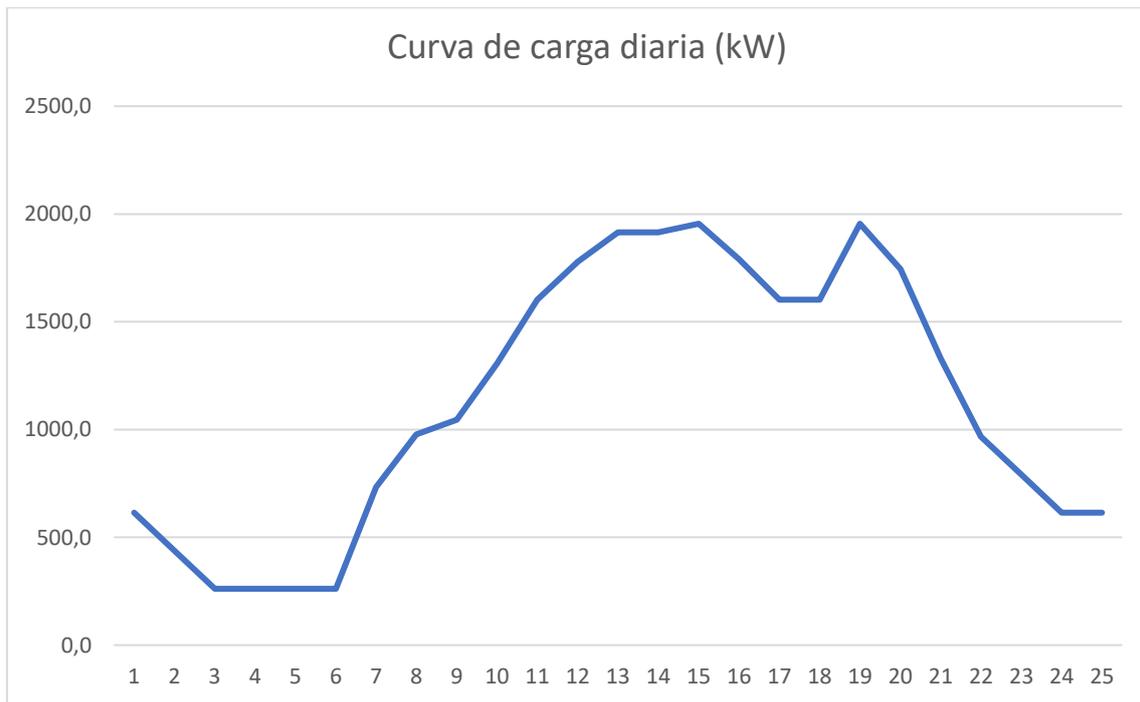


Gráfico 33: Curva de carga diaria de la ciudad de Bagata

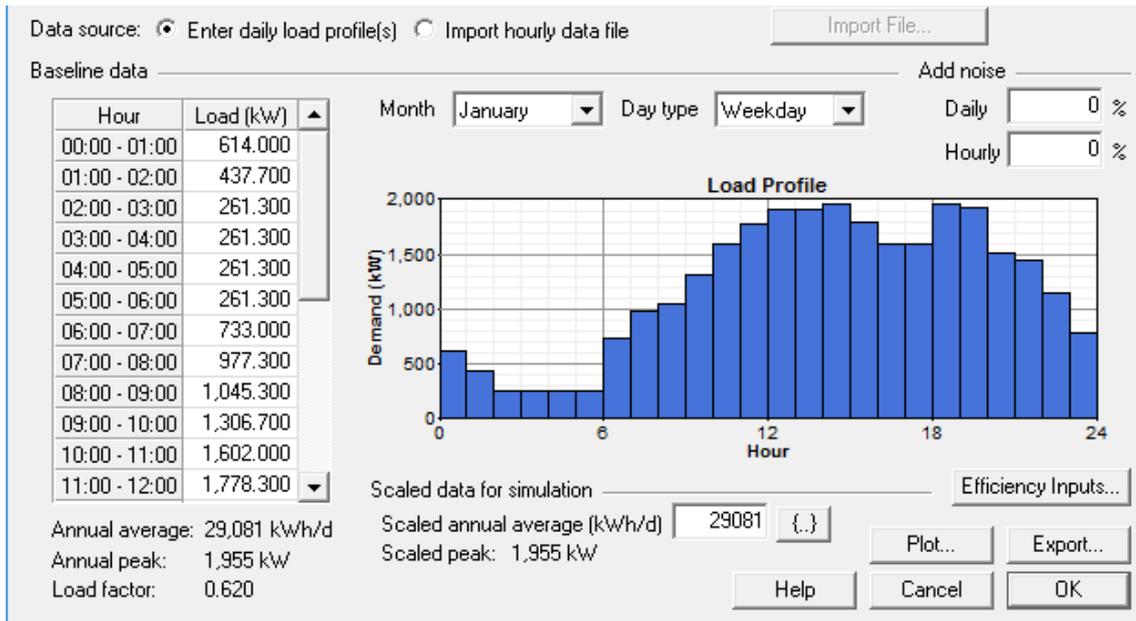


Ilustración 1: Curva de carga diaria en HOMER de la ciudad de Bagata

Tras introducir los datos de demanda energética se ha analizado los recursos energéticos de la zona para introducirlos en el sistema.

Como bien se ha comentado anteriormente, el potencial solar, hidráulico y de biomasa son interesantes por lo que habrá que explotar estas fuentes.

- Energía hidráulica:

Como en la mayoría de las regiones, los recursos hídricos en estas zonas son innumerables, con una gran cantidad de ríos, afluentes, saltos, cascadas que pueden servir para aprovechar la energía hidráulica, salvo en la región del ecuador y las dos Kasai.

En la zona que está siendo objeto de estudio hay un río con un caudal medio anual de 23.000 l/seg y una capacidad de desviar el cauce para simular un salto de 8 m. Esto provoca que la capacidad de potencia a instalar en energía hidráulica se cifre en 1.354 kW. El nivel de recursos hídricos en función de los periodos de lluvias se presentan en la siguiente gráfica.

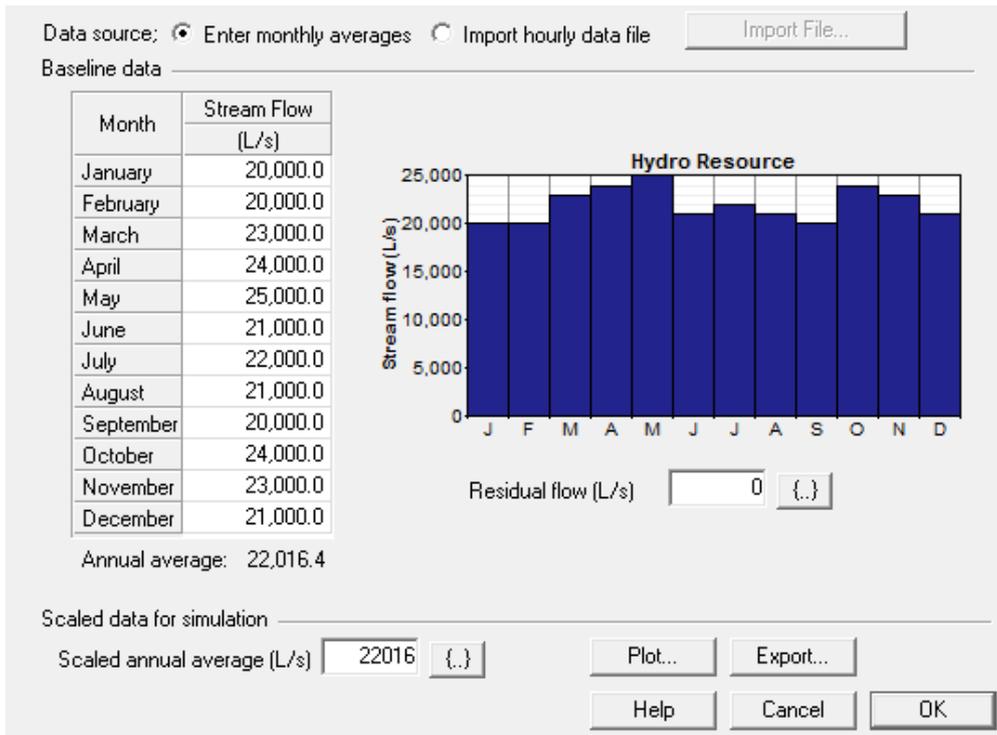


Ilustración 2: Recursos hídricos en el Río cercano a Bagata

Como puede verse, el caudal del río permanece aproximadamente constante a lo largo del año, salvo en dos pequeñas épocas, donde las lluvias repuntan.

- Solar Fotovoltaica.

Mediante el uso del PVGIS se ha obtenido la radiación horizontal para la zona objeto de estudio, que se ha introducido en el programa, así como la latitud y la longitud del lugar.

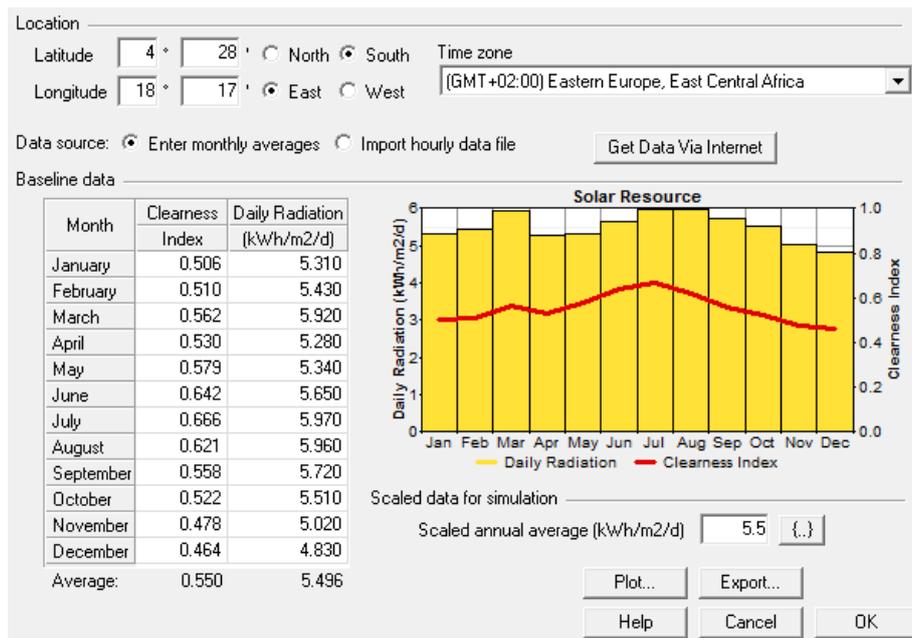


Ilustración 3: Recurso solar en la ciudad de Bagata

Como puede observarse, la media de radiación alcanza los 5,5 kWh/m²/día, valor bueno para el aprovechamiento solar.

- BIOMASA

Los generadores utilizados para el aprovechamiento de la biomasa transforman la biomasa en biogás para quemar el mismo y así generar electricidad. Según datos del fabricante para poder suministrar una potencia de 150 kW se necesitan 150 kg/h, lo que haría un total de 3.600 kg/h si se el generador trabajase a plena potencia durante todo el día. En el caso de estudio se ha considerado instalar un total de 5 generadores de biomasa, puesto que por las noches, para hacer frente a la falta de fotovoltaica es necesaria la instalación de un aporte de energía extra. Debido a la existencia de 5 generadores de biomasa, se necesitarán como mínimo 18 toneladas de biomasa al día en la instalación.

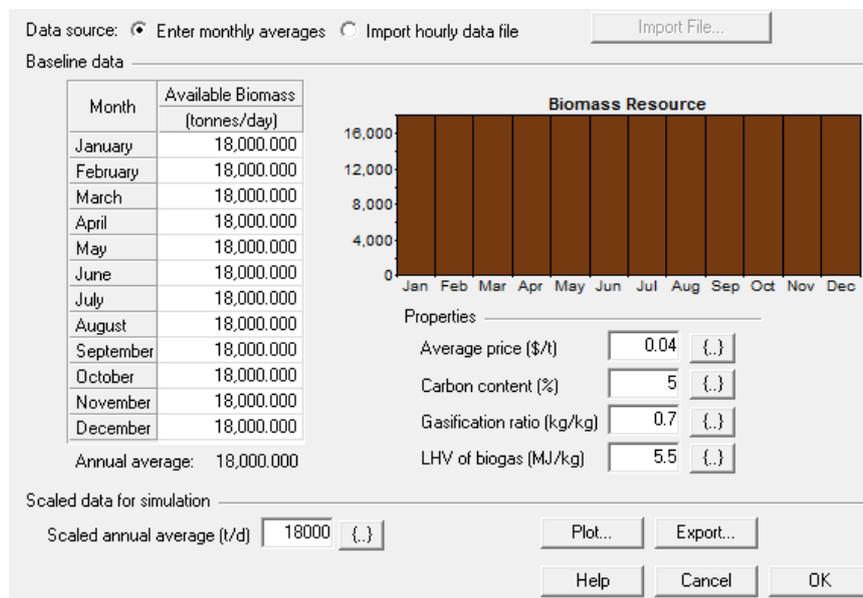


Ilustración 4: Cantidad de biomasa necesaria para la instalación

De esta forma, introduciendo esta cantidad de biomasa, será suficiente para suministrar la misma a los generadores de biogás.

Tecnológicamente hablando se han introducido las siguientes características.

- Energía mini hidráulica

En total hay instalados 1.354 kW que se irán modulando en función de las necesidades eléctricas de la zona.

Se aprovechará un salto de 8 metros en un río con un caudal de 23.000 l/seg y se considerarán unas pérdidas del 15 %

El coste del proyecto asciende a 2.25 millones de Euros, en función de estudios similares que cifran el coste del kW generado mediante minihidráulica en 1.667 €/kW

- Energía solar fotovoltaica

Se ha planteado una instalación solar de 700 kW, que supone un coste de 900.000 € aproximadamente. La inclinación de los paneles se ha considerado de 8° y 18° Azimuth. Un 10 % de pérdidas térmicas y suciedad así como un 20 % de grado de reflectividad de los paneles.

- Generadores de Biogás.

Se han considerado instalar 5 generadores de biogás de 150 kW cada uno de ellos con un consumo máximo de 1 kg/h por cada kW consumido.

El fabricante de estos generadores se corresponde con All Power Labs, siendo el coste de cada uno de ellos de 150.000 €, suponiendo de este modo una inversión de 750.000 € en generadores de biogás.

- Convertidor.

Se precisa la instalación de un convertidor de 1.000 kW que sea capaz de trasegar toda la potencia generada por la instalación fotovoltaica.

La ratio de precios actual de los convertidores se encuentra alrededor de los 160-200 €/Kw, por lo que considerando un ratio de estas características se obtiene que se precisa una inversión de 180.000 € en convertidores.

- Baterías.

Se ha considerado la instalación de 65 baterías modelo Hoppecke 24 OPzs 3000 para cubrir la demanda de energía restante. Estas baterías trabajan a 2 V y son capaces de trabajar a 3.000 Ah. Cada batería de 2 V cuesta 900 € lo que supone una inversión de 58.500 €.

Como puede verse en este último punto, las baterías suponen una mayor inversión que si se colocara un generador de biogás extra, y además que estas baterías tienen una vida de 5 años de media.

De este modo habrá que barajar la posibilidad de instalar un generador más en lugar de las baterías siempre y cuando se pueda hacer frente a las necesidades de biomasa.

Con todo ello, una vez realizada la simulación energética, se obtienen los siguientes resultados.

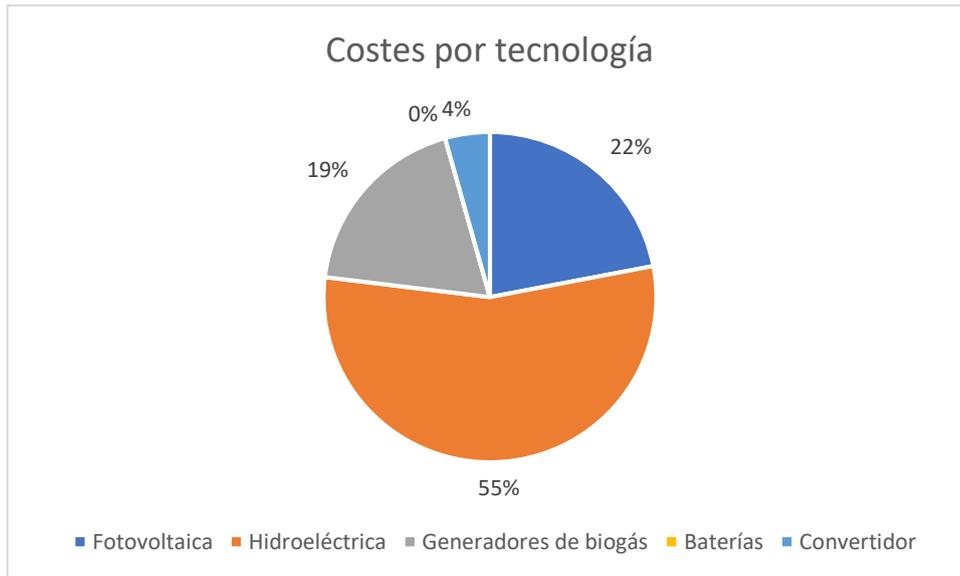


Gráfico 34: Costes de generación por tecnología en Bagata

Puede observarse que la tecnología más cara en inversión inicial es la hidroeléctrica, pero es la más fiable, seguida de la fotovoltaica, con un 22 % de los costes, mientras que las demás tecnologías ya están muy parejas, salvo los generadores de biogás, que representan un 18 % de los costes. También cabe decir que estos costes dependen de la potencia instalada.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los costes de la instalación.

	Inversión	Gasto proporcional durante la vida útil respecto a la inversión	Reemplazamientos	Operación y mantenimiento	Gastos combustible	Total
Fotovoltaica	900.000,00 €	70.404,00 €	0,00 €	12.000,00 €	0,00 €	982.404,00 €
Hidroeléctrica	2.250.000,00 €	176.010,00 €	0,00 €	30.000,00 €	0,00 €	2.456.010,00 €
Generadores de biogás	750.000,00 €	58.670,00 €	11.400,00 €	3.994,00 €	116,80 €	824.180,80 €
Baterías	58.500,00 €	4.576,00 €	4.021,00 €	0,00 €	0,00 €	67.097,00 €
Convertidor	180.000,00 €	14.081,00 €	0,00 €	500,00 €	0,00 €	194.581,00 €
Total	4.138.500,00 €	323.741,00 €	15.421,00 €	46.494,00 €	116,80 €	4.524.272,80 €

Tabla 22: Resumen de costes de la instalación sistemas híbridos en Bagata

En referencia a datos eléctricos, la fotovoltaica produce el 10 % de la energía, la energía hidráulica un 79 % y los generadores un 12 %.

	Energía producida (kWh)
Fotovoltaica	1.350.688
Hidroeléctrica	10.252.537
Generadores	1.567.234
Total	13.170.459

Tabla 23: Energía producida por tecnología

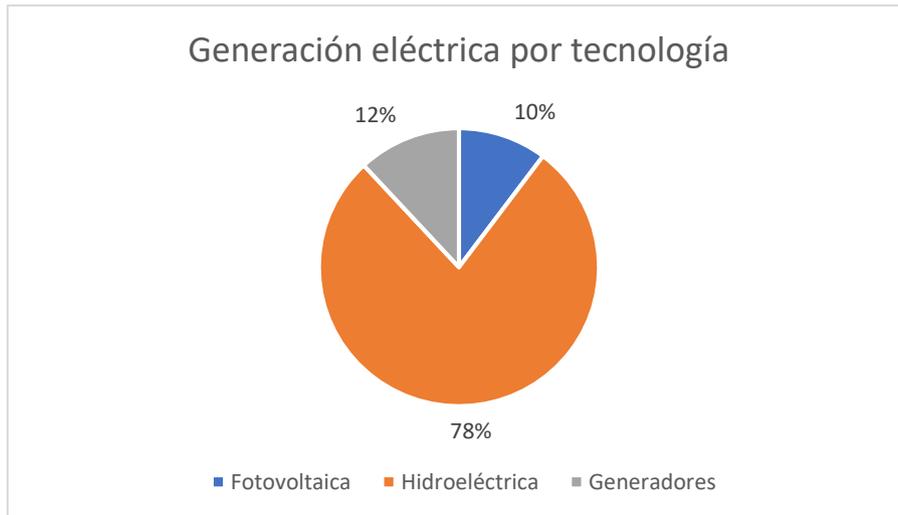


Gráfico 35: Distribución de generación eléctrica por tecnología

La solución de las baterías no parece la más idónea, ya que como puede verse en este gráfico, estas permanecen la mayor parte del tiempo cargadas y únicamente se descargan cuando las demás tecnologías no pueden hacer frente a la carga. Sin embargo, las baterías prácticamente no bajan del 50 % de su carga en ningún momento del año con una media de un 90 % de carga.



Ilustración 5: Entrada en descarga de baterías en Bagata por meses

Ocurre que las baterías solo son necesarias en un momento puntual del día debido a un pico de potencia en una o dos horas que no pueden ser suministrados con las demás tecnologías. De este modo, a las baterías apenas se descargan del 70 %.

Sin embargo, las baterías suelen ser más fiables que los generadores de biogás, de los que dependen de la disponibilidad de biomasa, así como la continua introducción de biomasa en el sistema y vigilancia de la cantidad de la misma.

Se analiza la instalación de otro generador de biomasa, en lugar de utilizar baterías si existe disponibilidad de la misma, y en caso contrario, instalar un generador diesel. Con todo ello los resultados serían los siguientes.

	Inversión	Gasto proporcional durante la vida útil respecto a la inversión	Reemplazamientos	Operación y mantenimiento	Gastos combustible	Total
Fotovoltaica	900.000,00 €	70.404,00 €	0,00 €	12.000,00 €	0,00 €	982.404,00 €
Hidroeléctrica	2.250.000,00 €	176.010,00 €	0,00 €	30.000,00 €	0,00 €	2.456.010,00 €
Generadores de biogás	750.000,00 €	70.604,00 €	11.400,00 €	3.994,00 €	125,00 €	836.123,00 €
Baterías	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Convertidor	180.000,00 €	14.081,00 €	0,00 €	500,00 €	0,00 €	194.581,00 €
Total	4.080.000,00 €	331.099,00 €	11.400,00 €	46.494,00 €	125,00 €	4.469.118,00 €

Tabla 24: Resumen costes de generación con mayor cantidad de baterías

Como puede verse, al final de la vida útil de la instalación, el coste total es incluso más caro que en el caso de la instalación de las baterías, por lo que se aconseja el tipo de sistema anterior. Se valoraría además la posibilidad de la instalación de una mayor cantidad de baterías y reducir la cantidad de generación eléctrica a través de la biomasa. Esta nueva situación conllevaría el peligro de descarga de baterías durante periodos muy largos sin sol.

3.2.2. Regiones tipo 2

El segundo tipo de regiones se clasifica en los territorios de Maniema, Kivu Norte y Kivu Sur.

La energía hidráulica de estas regiones es bastante interesante, con una afluencia de ríos y lagos muy importante por lo que hay una gran capacidad de aprovechamiento hidráulico. La irradiación anual es más que suficiente para el aprovechamiento solar. El potencial eólico es prácticamente nulo. Sin embargo cuenta con pequeña cantidad de desechos agrícolas para el aprovechamiento de la generación eléctrica a través de la biomasa con menos de 300 GWh/año.

Debido a la gran cantidad de ganadería presente en Kivu Norte, en esta región sí que hay una gran capacidad de aprovechamiento del biogás.

La mayoría de los asentamientos en estos territorios se sitúan sobre el cauce de los ríos, por lo que la dificultad de aprovechamiento de la energía minihidráulica no es problema. Las características de las villas en estas regiones se caracterizan por ser pequeñas poblaciones y asentamientos que no suelen superar los 10.000 habitantes, por lo que los picos de demanda no suelen superar el MW, salvo por ejemplo el centro de Kindu 1 y Kindu 2 en Maniema, que cuenta un con 180.730 habitantes y unos 5 MW de potencia demandada. Para este tipo de poblaciones, la generación distribuida supone un problema debido a la gran necesidad eléctrica y por consiguiente las grandes centrales hidroeléctricas juegan un papel muy importante junto con grandes instalaciones fotovoltaicas. En Kivu Norte y Kivu Sur, hay muchos territorios o sectores donde la población supera los 200.000 habitantes pero distribuidos en pequeñas villas a lo largo del cauce de los ríos.

La villa o ciudad que se ha elegido para la simulación energética se corresponde con el centro de Ibanga, que es una villa que todavía se encuentra sin electrificar, presente en el territorio de

Las características de la ciudad son las que se muestran a continuación.

Centro de Ibanga	
Habitantes	27.607
Número de hogares	2.761
Personas por hogar	10

Tabla 25: Características ciudad de Ibanga

En relación con las actividades socioeconómicas, esta región se basa en la agricultura de Yuca, arroz, maíz, plátanos, patatas, dulces, café o aceite de palma. También basa su economía en la ganadería de ovejas, cerdos, cabras y aves de corral, así como en la pesca o actividad industrial basada en el manejo de madera.

Las necesidades energéticas de la zona son las que se muestran en la siguiente tabla:

Potencia a nivel industrial	kW
Molinos	40
Molino de aceite y fábrica de jabón	40
Matadero	10
Arrocerías	80
Cámaras de frío	120
Plantaciones de café	30
Pequeñas embarcaciones	30
Bombeo de agua	50
TOTAL	400

Tabla 26: Demandas de potencia a nivel industrial en la ciudad de Ibanga

En cuanto a la potencia de los hogares, la misma se cifra en 750 kW y el alumbrado público se cifra en 20 kW. Esto hace que la potencia total demandada ascienda a 1.170 kW

A continuación, se ha realizado una combinación de una curva de demanda de tipo doméstica diaria con una de actividad industrial y otra de sector servicios para obtener la siguiente curva de carga diaria, cuyo pico de potencia se cifra en 987 kW. A continuación, se presenta la curva de carga resultante y la resultante ya introducida en el programa de cálculo HOMER.



Gráfico 36: Curva de carga diaria de la ciudad de Ibanga

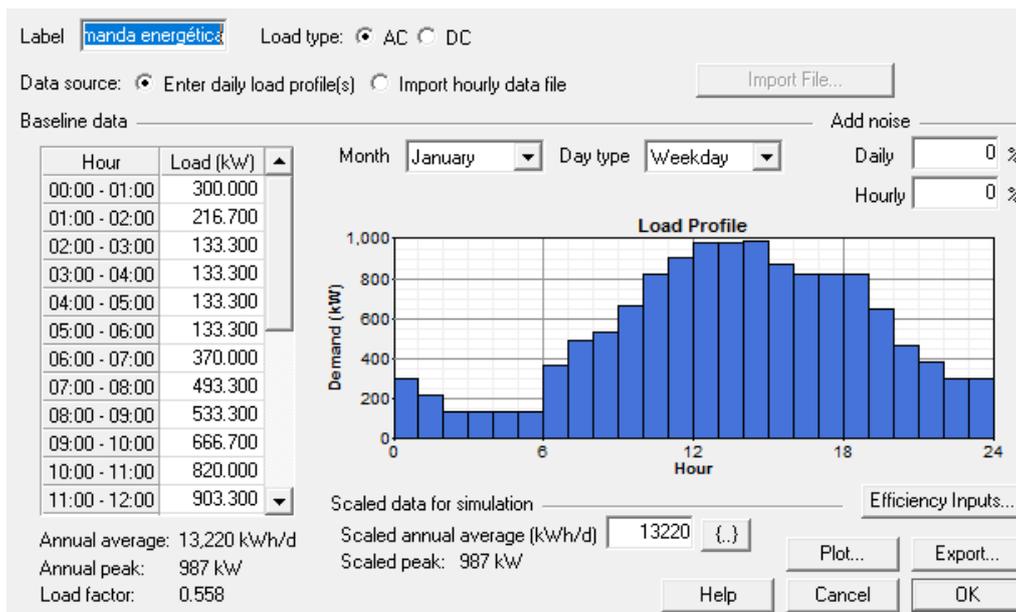


Ilustración 6: Curva de carga diaria de la ciudad de Ibanga en HOMER

Tras introducir los datos de demanda energética en el HOMER, se han analizado los recursos energéticos para la zona objeto de estudio introduciendo los datos energéticos en el sistema.

El potencial solar e hidráulico son interesantes como fuentes de energía primarias, no tanto la biomasa que es de recurso inestable en estas regiones.

A continuación, se presentan las características energéticas introducidas.

- Energía hidráulica.

La población se encuentra asentada sobre un río que cuenta con un caudal de 30.000 l/seg y donde se pueden realizar unas infraestructuras que permitan aprovechar un salto de 3,5 metros. Esto haría que se pudieran aprovechar 770 kW de potencia hidráulica, instalando así turbinas de 300 kW cada una y una turbina de 150 kW.

Como en la mayoría de las regiones, los recursos hídricos son innumerables. Además, en estas regiones, el cauce de los ríos es muy abundante durante todo el día.

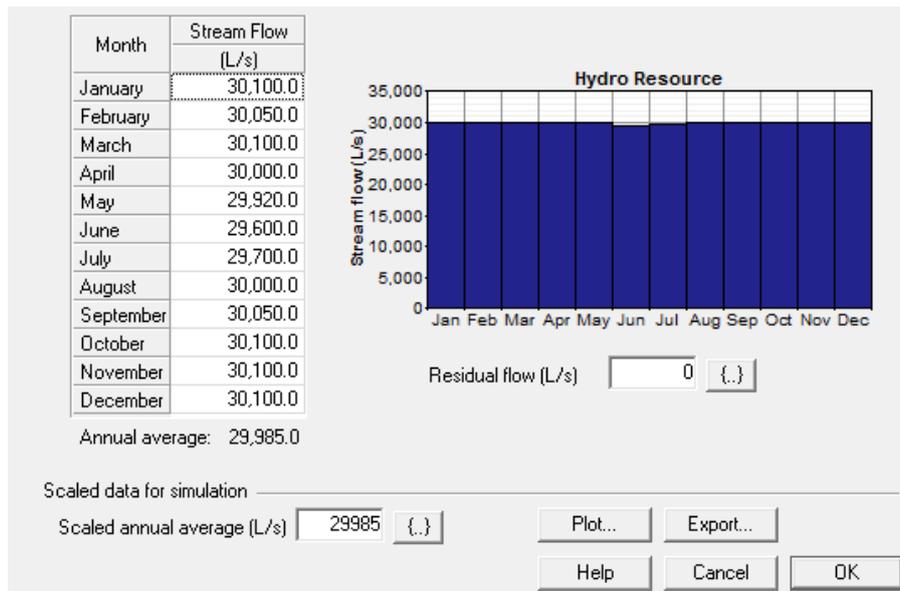


Ilustración 7: Recursos hídricos en la ciudad de Ibanga

- Solar fotovoltaica.

Mediante el uso del PVGIS se ha obtenido la radiación horizontal para la zona objeto de estudio, que se ha introducido en el programa, así como la latitud y la longitud del lugar.

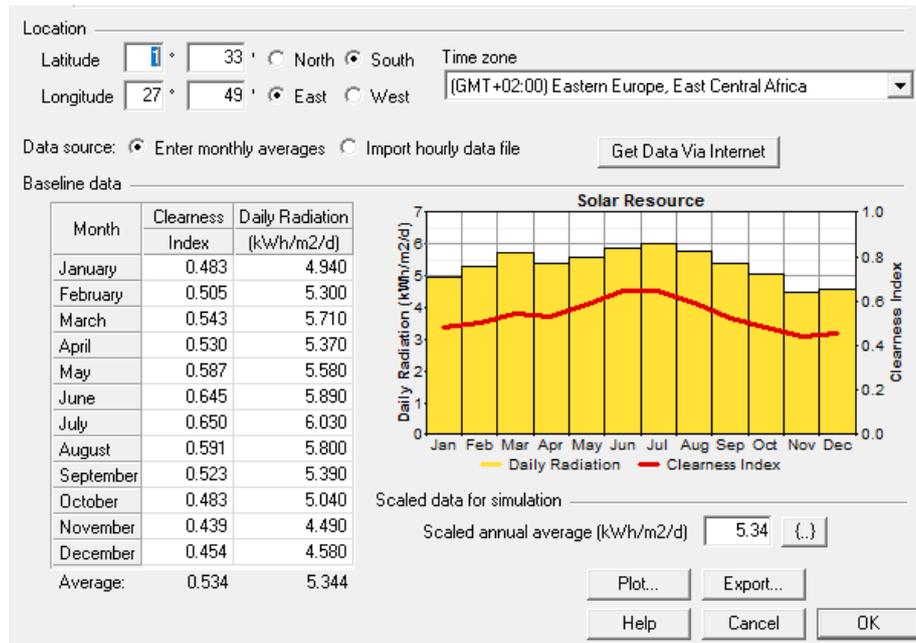


Ilustración 8: Recurso solar en la ciudad de Ibanga

Como puede observarse, al media de radiación alcanza los 5,34 kWh/m²/día, valor bueno para el aprovechamiento solar.

- BIOMASA

Los generadores utilizados para el aprovechamiento de la biomasa transforman la biomasa en biogás para quemar el mismo y así generar electricidad. Según datos del fabricante para poder suministrar una potencia de 150 kW se necesitan 150 kg/h, lo que haría un total de 3.600 kg/h si se el generador trabajase a plena potencia durante todo el día. En el caso de estudio se ha considerado instalar un total de 1 generador de biomasa, puesto que por las noches, para hacer frente a la falta de fotovoltaica es necesaria la instalación de un aporte de energía extra junto con las baterías.

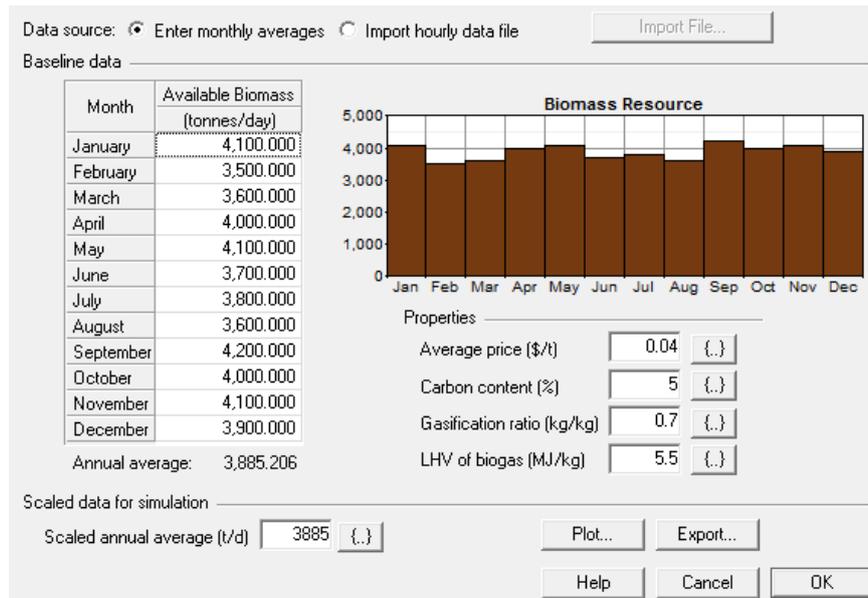


Ilustración 9: Disponibilidad de biomasa en la ciudad de Ibanga

De esta forma, introduciendo esta cantidad de biomasa, será suficiente para suministrar la misma a los generadores de biogás.

Tecnológicamente hablando se han introducido las siguientes características.

- Energía minihidráulica

En total hay instalados 750 kW que se irán modulando en función de las necesidades eléctricas de la zona.

Se aprovechará un salto de 3,5 metros en un río con un caudal de 30.000 l/seg y se considerarán unas pérdidas del 15 %

El coste del proyecto asciende a 1,859 millones de Euros.

- Energía solar fotovoltaica

Se ha planteado una instalación solar de 600 kW, que supone un coste de 800.000 € aproximadamente. La inclinación de los paneles se ha considerado de 8° y 18° Azimuth. Un 10 % de pérdidas térmicas y suciedad así como un 20 % de grado de reflectividad de los paneles.

- Generadores de Biogás.

Se han considerado instalar 1 generador de biogás de 150 kW con un consumo máximo de 1 kg/h por cada kW consumido.

El fabricante de estos generadores se corresponde con All Power Labs, siendo el coste de cada uno de ellos de 150.000 €, suponiendo de este modo una inversión de 300.000 € en generadores de biogás.

- Convertidor.

Se precisa la instalación de un convertidor de 600 kW que sea capaz de trasegar toda la potencia generada por la instalación.

La ratio de precios actual de los convertidores se encuentra alrededor de los 160-200 €/Kw, por lo que considerando un ratio de estas características se obtiene que se precisa una inversión de 108.000 € en convertidores.

- Baterías.

Son necesarias la instalación de 20 baterías modelo Hoppecke 24 OPzs 3000 para cubrir la demanda de energía restante. Estas baterías trabajan a 2 V y son capaces de trabajar a 3.000 Ah. Cada batería de 2 V cuesta 900 € lo que supone una inversión de 135.000 €.

Con todo ello, una vez realizada la simulación energética, se obtienen los siguientes resultados.

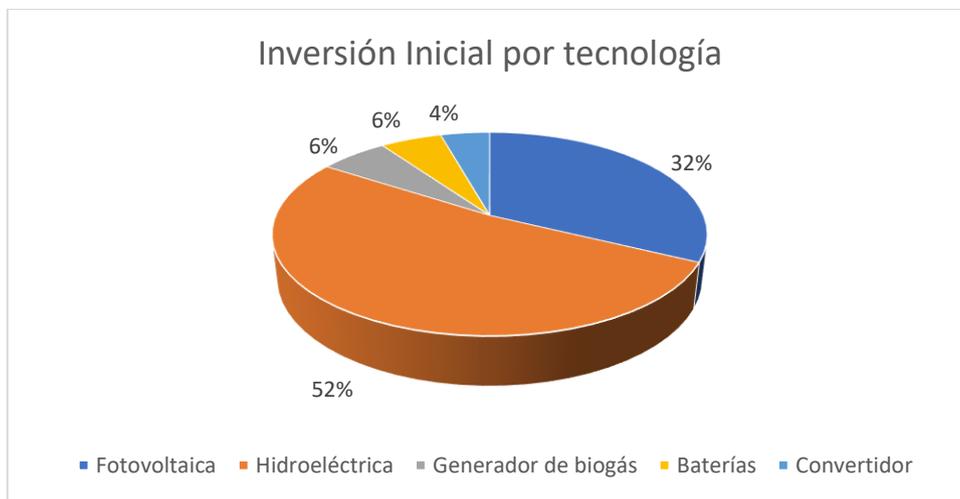


Gráfico 37: Costes de inversión por tecnología.

Puede observarse que la tecnología más cara en inversión inicial es la hidroeléctrica, con un 52 %, pero es la más fiable, seguida de la fotovoltaica, con un 32 % de los costes, mientras que las demás tecnologías ya están muy parejas.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los costes de la instalación.

	Inversión inicial	Capital anualizado (€/año)	Reemplazamientos (€/año)	Operación y mantenimiento (€/año)	Gastos combustible (€/año)	Total (€/año)	Total (25 años)
Fotovoltaica	800.000,00 €	62.581,00 €	0,00 €	5.000,00 €	0,00 €	67.581,00 €	1.689.525,00 €
Hidroeléctrica	1.288.591,00 €	100.802,00 €	0,00 €	11.500,00 €	0,00 €	112.302,00 €	2.807.550,00 €
Generador de biogás	150.000,00 €	11.734,00 €	7.869,00 €	1.664,00 €	42,10 €	21.309,10 €	532.727,50 €
Baterías	135.000,00 €	10.561,00 €	10,00 €	100,00 €	0,00 €	10.671,00 €	266.775,00 €
Convertidor	108.000,00 €	8.448,00 €	0,00 €	100,00 €	0,00 €	8.548,00 €	213.700,00 €
Total	2.481.591,00 €	194.126,00 €	7.879,00 €	18.364,00 €	42,10 €	220.411,10 €	5.510.277,50 €

Tabla 27: Resumen de costes de instalación en la ciudad de Ibanga

En la tabla anterior se muestra la inversión inicial que se realizaría, que se cifraría en 2,481 M€, mientras que a lo largo de la vida útil de la instalación, el total sumaría 5,51 M€.

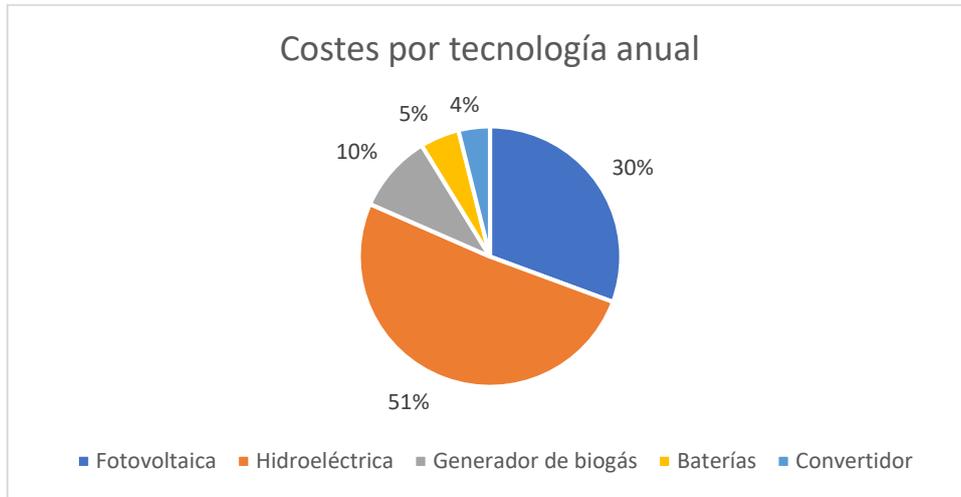


Gráfico 38: Distribución de costes por tecnología en la ciudad de Ibanga

En referencia a datos eléctricos, la fotovoltaica produce el 15 % de la energía, la energía hidráulica un 76 % y los generadores un 9 %.

	Energía producida (kWh)
Fotovoltaica	1.115.510
Hidroeléctrica	5.749.915
Generador biogás	716.191
Total	7.581.616

Tabla 28: Generación eléctrica por tecnología.

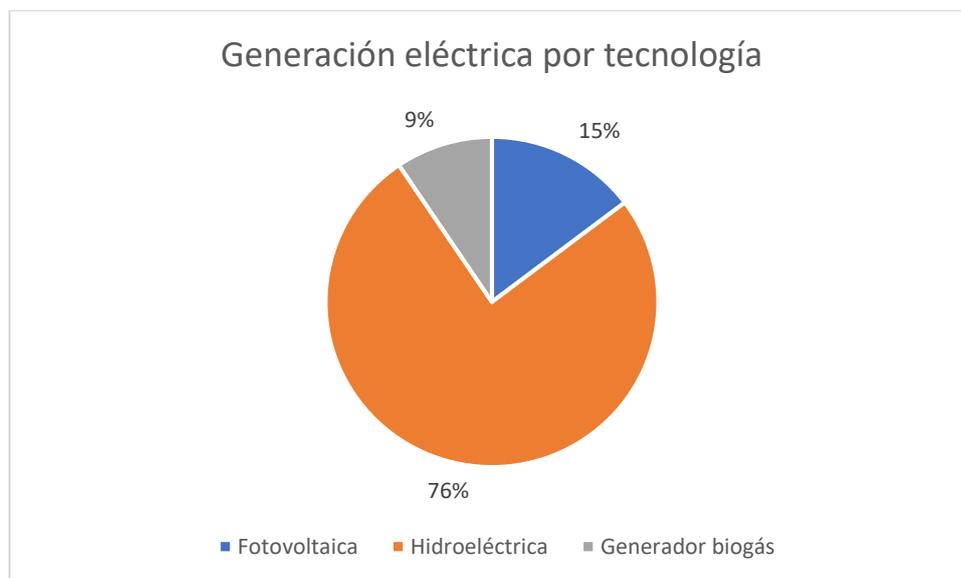


Gráfico 39: Distribución de generación eléctrica por tecnología en Ibanga

A continuación se muestra aproximadamente el trabajo que realiza el generador y las baterías a lo largo del año.

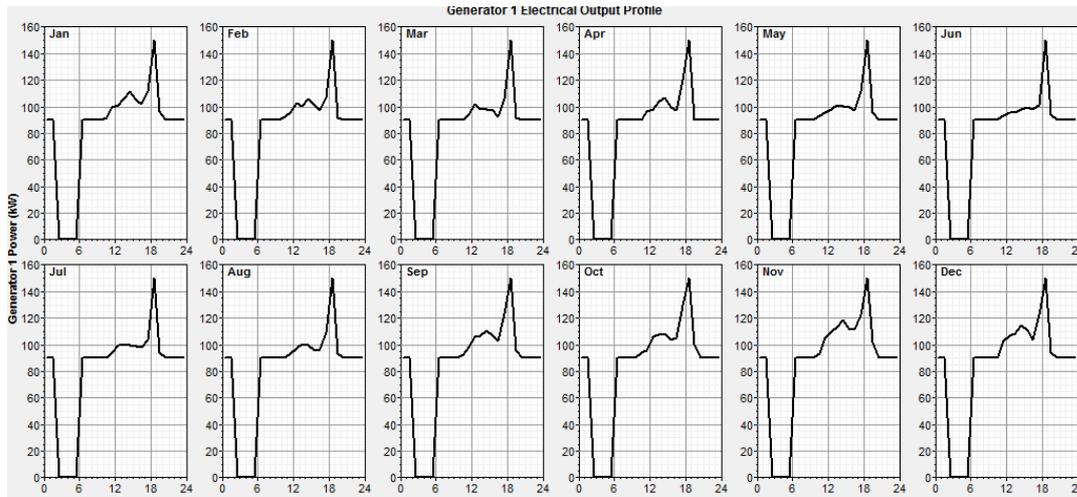


Ilustración 10: Entrada de generadores por meses en Ibangá

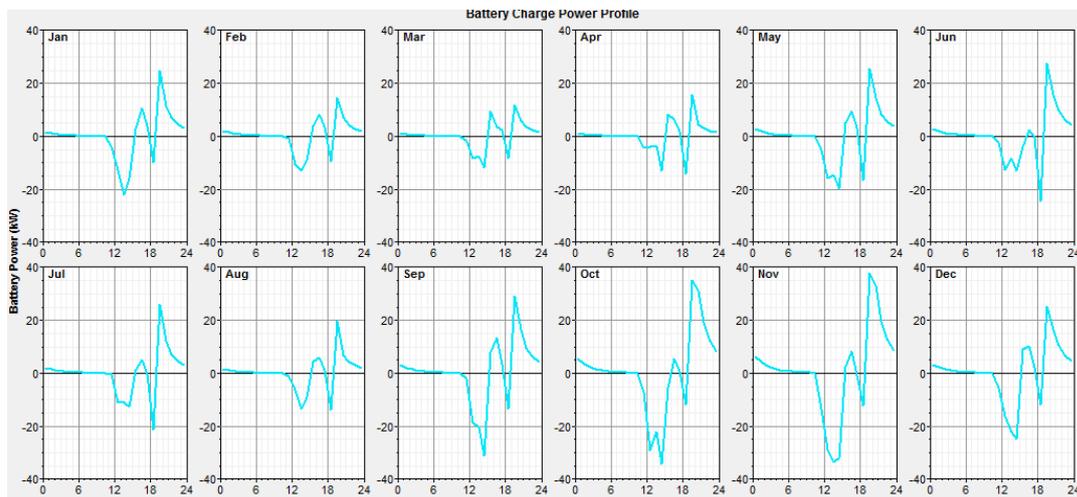


Ilustración 11: Entrada de baterías por meses en Ibangá

Esto verifica que la instalación se encuentra bien dimensionada puesto que tanto el generador como las baterías actúan constantemente para hacer frente a los picos de demanda.

3.2.3. Regiones tipo 3

Regiones como Ecuador, Kasai Occidental y Kasai Oriental son regiones que cuentan con una energía hidráulica no muy regular a lo largo del año clasificada en mayor medida en ciertos meses del año, no habiendo por tanto un caudal regular como ocurre en la mayoría de las regiones anteriormente estudiadas, sobre todo en el caso de las dos Kasai. La región del Ecuador, sí que es una región que cuenta con abundantes lluvias a lo largo del año, pero que no presenta una hidrografía muy definida para el aprovechamiento de la energía hidráulica, y es por ello que se ha agrupado con las dos Kasai. Tienen un más que suficiente potencial para la generación de biogás y generación eléctrica con gasificadores, siendo

regiones que superan los 700 GWh/año en potencial de biomasa, así como gran potencial solar también. Esto hace pensar que para realizar un diseño óptimo habrá que mayorar la instalación fotovoltaica para que en los meses del año en los que el agua escasea se haga frente mediante la energía fotovoltaica y la carga de baterías o el uso de generadores de biomasa.

La mayoría de los asentamientos en estos territorios se sitúan sobre el cauce de los ríos, por lo que la dificultad de aprovechamiento de la energía minihidráulica no es problema. La villa que se ha elegido para la simulación energética se corresponde con Mutoto, que es una villa que todavía se encuentra sin electrificar, que se encuentra en el territorio de Demba, perteneciente a Kasai-Occidental.

Las características de la ciudad son las que se muestran a continuación.

Villa de Mutoto	
Habitantes	7.168
Número de hogares	1.024
Personas por hogar	7

Tabla 29: Características de la villa de Mutoto

En relación con las actividades socioeconómicas, esta región se basa en la agricultura de Yuca, arroz, maíz, plátanos, patatas, dulces, café. También basa su economía en la ganadería de ovejas mayoritariamente, así como en la pesca, o cultivos industriales de aceite de palma, caucho o manejo de la madera.

Las necesidades energéticas de la zona son las que se muestran en la siguiente tabla:

Potencia a nivel industrial	kW
Desgranadora de arroz	20
Centro de salud	30
Cámaras frigoríficas	60
Escuelas primarias y secundarias	20
Bombas de agua	40
Molinos de aceite	20
Pequeñas tiendas	15
Aserradero	30
Mataderos	10
Fábricas de Jabón	300
TOTAL	545

Tabla 30: Potencia demandada a nivel industrial en la villa de Mutoto

En cuanto a la potencia de los hogares, la misma se cifra en 470 kW y el alumbrado público se cifra en 20 kW. Esto hace que la potencia total demandada ascienda a 1.015 kW

A continuación, se ha realizado una combinación de una curva de demanda de tipo doméstica diaria con una de actividad industrial y otra de sector servicios para obtener la siguiente curva de carga diaria, cuyo pico de potencia se cifra en 950Kw. A continuación, se presenta la curva de carga resultante y la resultante ya introducida en el programa de cálculo HOMER.

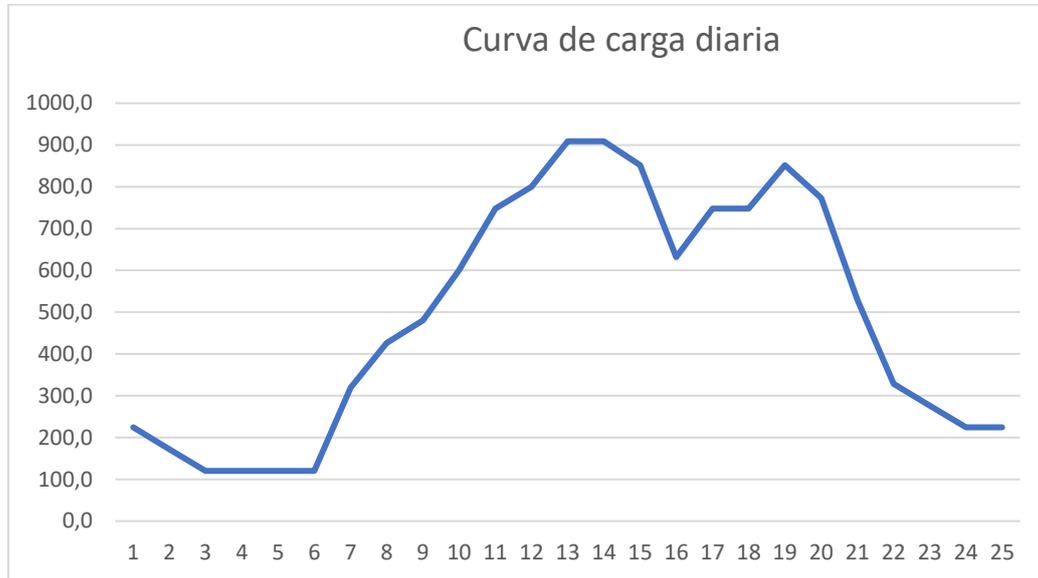


Gráfico 40: Curva de carga diaria de la instalación

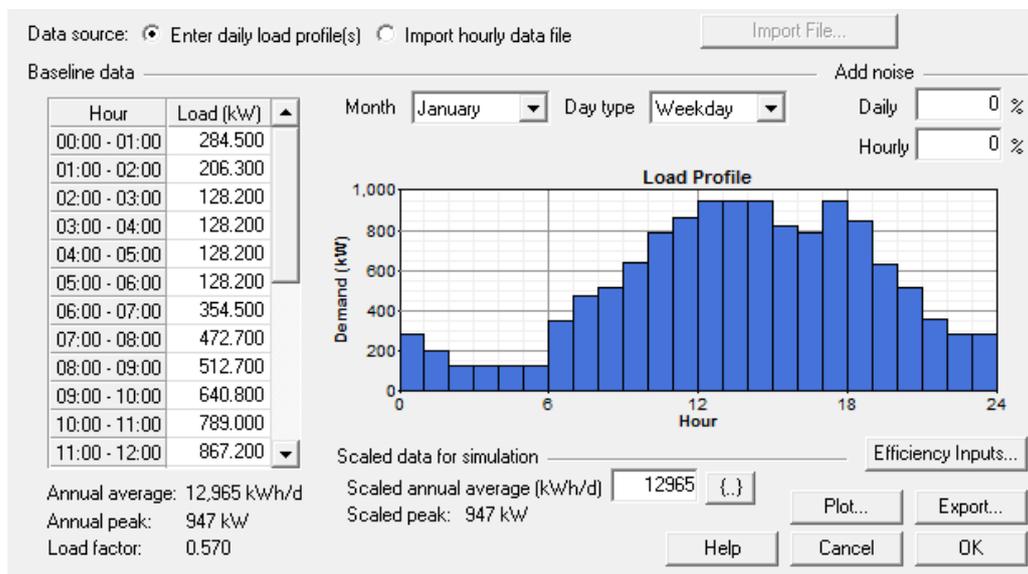


Ilustración 12: Curva de carga diaria de la instalación en Homer en Mutoto

Tras introducir los datos de demanda energética en el HOMER, se han analizado los recursos energéticos para la zona objeto de estudio introduciendo los datos energéticos en el sistema.

El potencial solar y de biomasa son interesantes como fuentes de energía primarias, no tanto la energía hidráulica que es de recurso inestable en estas regiones.

A continuación, se presentan las características energéticas introducidas.

- Energía hidráulica.

La población se encuentra asentada sobre un río que cuenta con un caudal de 20.000 l/seg y donde se pueden realizar unas infraestructuras que permitan aprovechar un salto de 4 metros. Esto haría que se pudieran aprovechar 600 kW de potencia hidráulica, instalando así 2 turbinas de 300 kW cada una.

Como en la mayoría de las regiones, los recursos hídricos son innumerables, salvo en estas regiones objeto de estudio, donde los recursos son muy altos, pero los caudales no son regulares a lo largo del año. Los periodos de lluvias van comprendidos entre los meses de Septiembre a Mayo que se corresponderán con los de mayor caudal como se verá a continuación. Según datos, el nivel del río puede reducirse hasta un 40 % en los periodos de sequía.

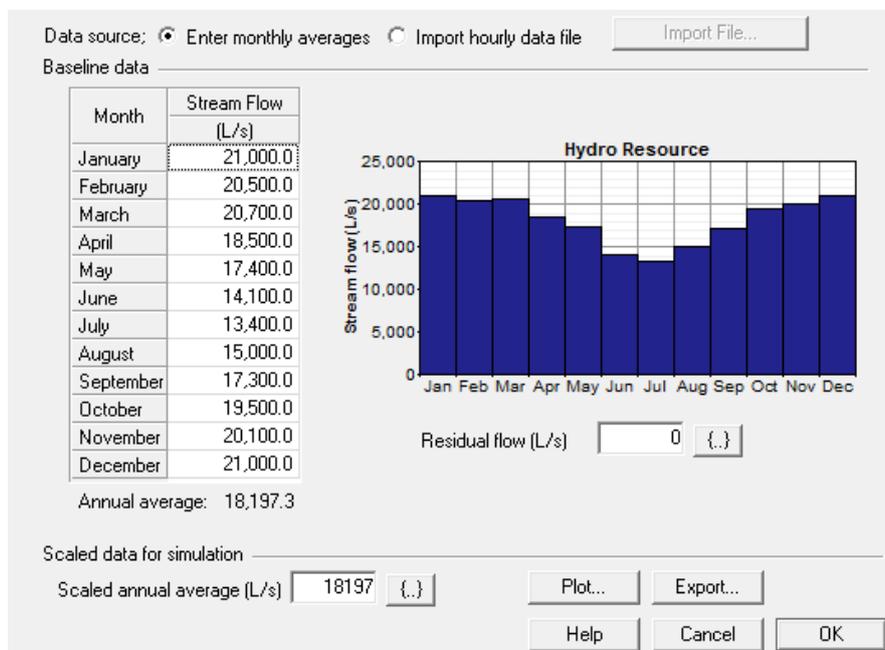


Ilustración 13: Recursos hídricos en Mutoto

- Solar fotovoltaica.

Mediante el uso del PVGIS se ha obtenido la radiación horizontal para la zona objeto de estudio, que se ha introducido en el programa, así como la latitud y la longitud del lugar.

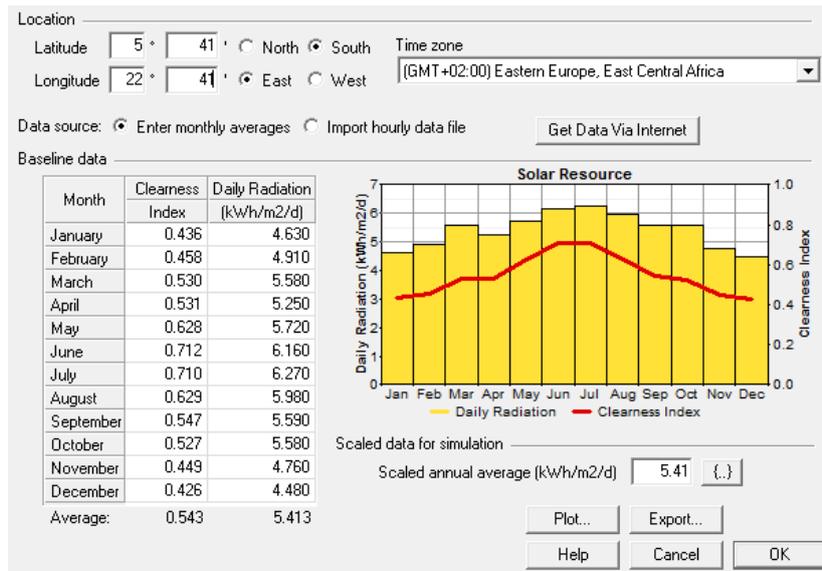


Ilustración 14: Recurso solar en Mutoto

Como puede observarse, al media de radiación alcanza los 5,41 kWh/m²/día, valor bueno para el aprovechamiento solar.

- BIOMASA

Los generadores utilizados para el aprovechamiento de la biomasa transforman la biomasa en biogás para quemar el mismo y así generar electricidad. Según datos del fabricante para poder suministrar una potencia de 150 kW se necesitan 150 kg/h, lo que haría un total de 3.600 kg/h si se el generador trabajase a plena potencia durante todo el día. En el caso de estudio se ha considerado instalar un total de 3 generadores de biomasa, puesto que por las noches, para hacer frente a la falta de fotovoltaica es necesaria la instalación de un aporte de energía extra. Debido a la existencia de 3 generadores de biomasa, se necesitarán como mínimo 11 toneladas de biomasa al día en la instalación.

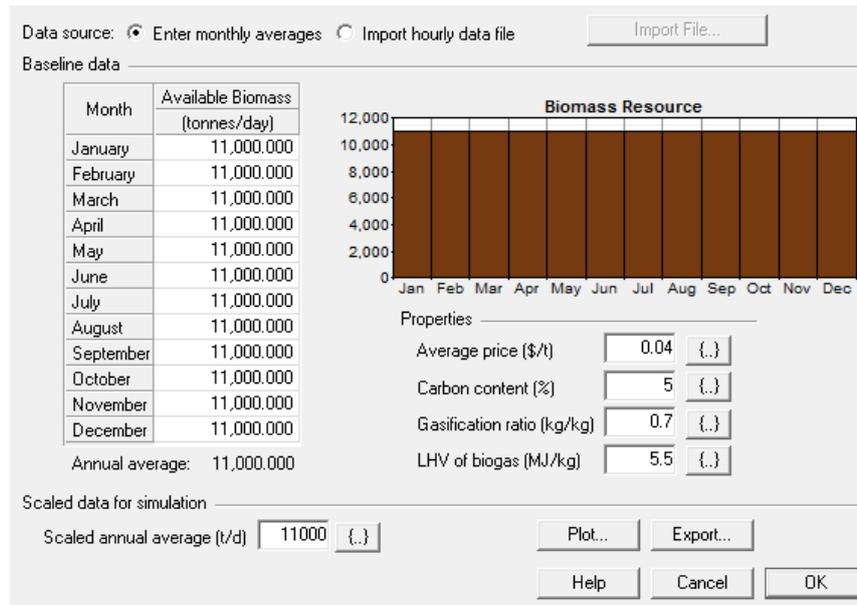


Ilustración 15: Necesidades de biomasa para generadores en Mutoto

De esta forma, introduciendo esta cantidad de biomasa, será suficiente para suministrar la misma a los generadores de biogás.

Tecnológicamente hablando se han introducido las siguientes características.

- Energía minihidráulica

En total hay instalados 600 kW que se irán modulando en función de las necesidades eléctricas de la zona.

Se aprovechará un salto de 4 metros en un río con un caudal de 20.000 l/seg y se considerarán unas pérdidas del 15 %

El coste del proyecto asciende a 1,44 millones de Euros.

- Energía solar fotovoltaica

Se ha planteado una instalación solar de 400 kW, que supone un coste de 600.000 € aproximadamente. La inclinación de los paneles se ha considerado de 8° y 18° Azimuth. Un 10 % de pérdidas térmicas y suciedad así como un 20 % de grado de reflectividad de los paneles.

- Generadores de Biogás.

Se han considerado instalar 3 generadores de biogás de 150 kW cada uno de ellos con un consumo máximo de 1 kg/h por cada kW consumido.

El fabricante de estos generadores se corresponde con All Power Labs, siendo el coste de cada uno de ellos de 150.000 €, suponiendo de este modo una inversión de 300.000 € en generadores de biogás.

- Convertidor.

Se precisa la instalación de un convertidor de 400 kW que sea capaz de trasegar toda la potencia generada por la instalación fotovoltaica.

La ratio de precios actual de los convertidores se encuentra alrededor de los 160-200 €/Kw, por lo que considerando un ratio de estas características se obtiene que se precisa una inversión de 72.000 € en convertidores.

- Baterías.

Son necesarias la instalación de 20 baterías modelo Hoppecke 24 OPzs 3000 para cubrir la demanda de energía restante. Estas baterías trabajan a 2 V y son capaces de trabajar a 3.000 Ah. Cada batería de 2 V cuesta 900 € lo que supone una inversión de 18.000 €.

Con todo ello, una vez realizada la simulación energética, se obtienen los siguientes resultados.

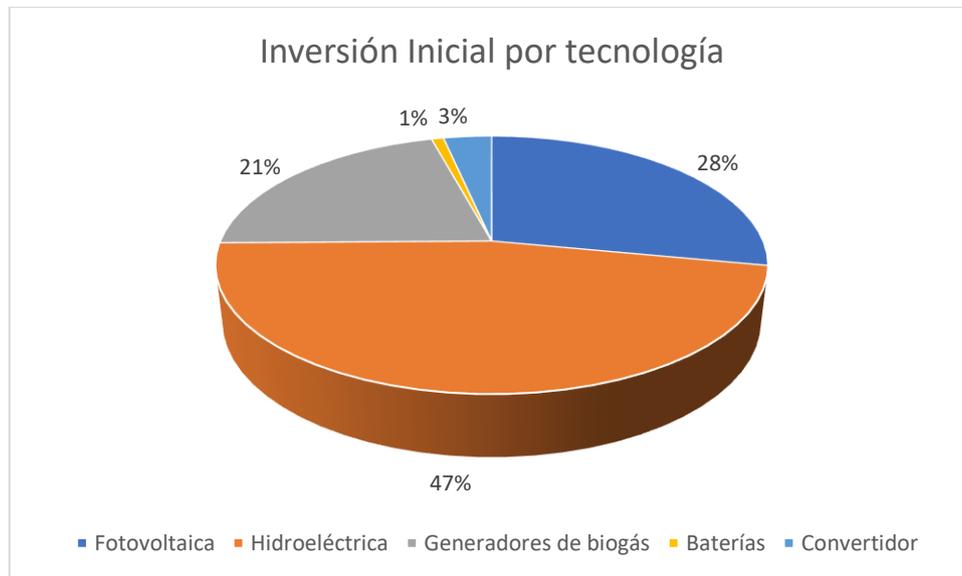


Gráfico 41: Inversión inicial por tecnología en Mutoto

Puede observarse que la tecnología más cara en inversión inicial es la hidroeléctrica, pero es la más fiable, seguida de la fotovoltaica, con un 28 % de los costes, mientras que las demás tecnologías ya están muy parejas, salvo los generadores de biogás que representan un 21 %. También cabe decir que estos costes dependen de la potencia instalada.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los costes de la instalación.

	Inversión inicial	Capital anualizado (€/año)	Reemplazamientos (€/año)	Operación y mantenimiento (€/año)	Gastos combustible (€/año)	Total (€/año)	Total (25 años)
Fotovoltaica	600.000,00 €	46.936,00 €	0,00 €	5.000,00 €	0,00 €	51.936,00 €	1.298.400,00 €
Hidroeléctrica	1.000.200,00 €	78.242,00 €	0,00 €	11.500,00 €	0,00 €	89.742,00 €	2.243.550,00 €
Generadores de biogás	450.000,00 €	35.202,00 €	4.219,00 €	5.991,00 €	49,40 €	45.461,40 €	1.136.535,00 €
Baterías	18.000,00 €	1.408,00 €	1.072,00 €	100,00 €	0,00 €	2.580,00 €	64.500,00 €
Convertidor	72.000,00 €	5.632,00 €	0,00 €	100,00 €	0,00 €	5.732,00 €	143.300,00 €
Total	2.140.200,00 €	167.420,00 €	5.291,00 €	22.691,00 €	49,40 €	195.451,40 €	4.886.285,00 €

Tabla 31: Resumen costes de tecnología en la instalación de Mutoto

En la tabla anterior se muestra la inversión inicial que se realizaría, que se cifraría en 2,140 M€, mientras que a lo largo de la vida útil de la instalación, el total sumaría 4,9 M€.

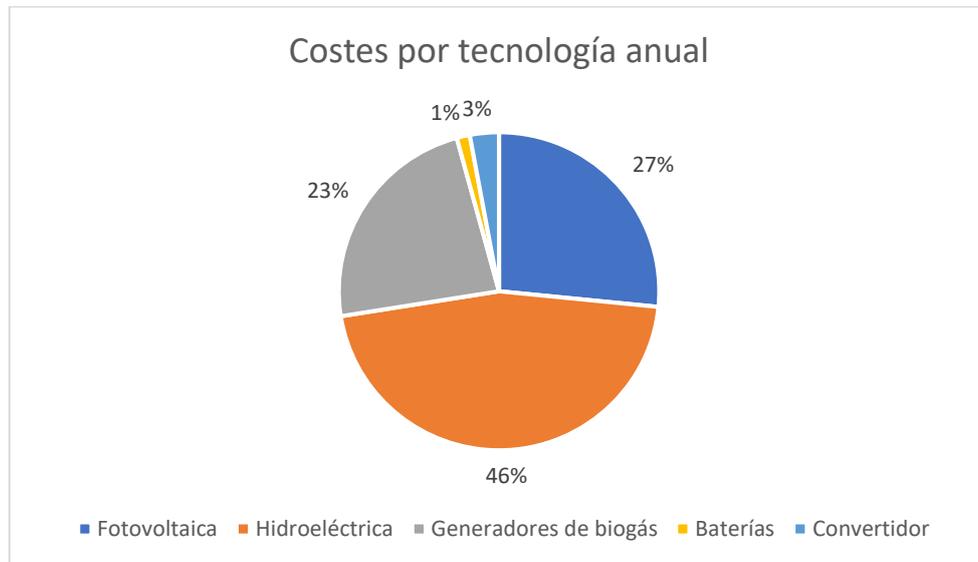


Gráfico 42: Distribución Costes por tipo de tecnología en Mutoto

En referencia a datos eléctricos, la fotovoltaica produce el 20 % de la energía, la energía hidráulica un 72 % y los generadores un 8 %.

	Energía producida (kWh)
Fotovoltaica	761.562
Hidroeléctrica	4.087.031
Generador 1	50.694
Generador 2	444.903
Generador 3	211.863
Total	5.556.053 kWh

Tabla 32: Generación eléctrica por tecnología en Mutoto.

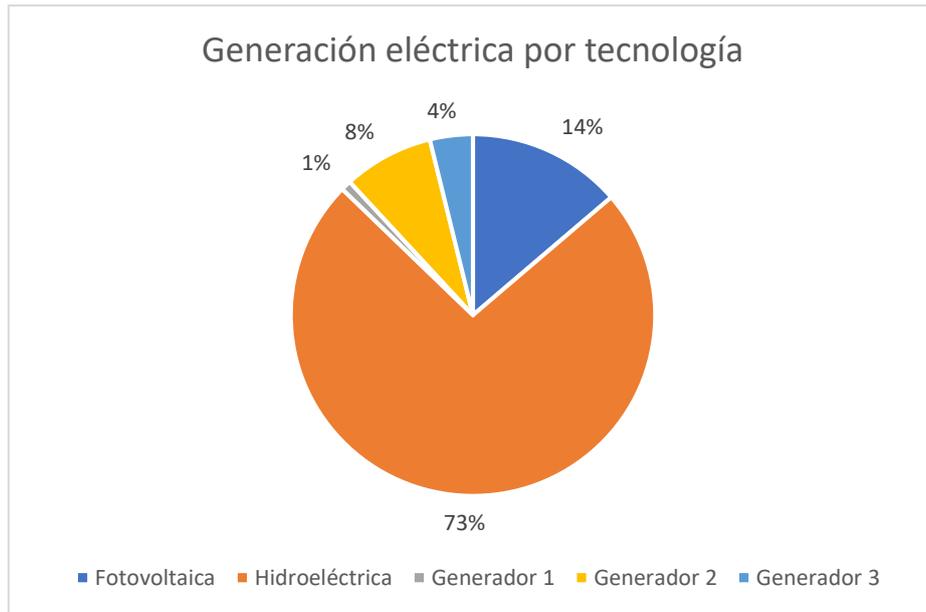


Tabla 33: Distribución de generación eléctrica por tecnología en Mutoto

Como puede observarse en el gráfico anterior, el generador 1 trabaja muy pocas horas al año, haciendo frente únicamente a los picos de demanda que se presentan durante los meses de Junio a Septiembre donde la energía hidroeléctrica flojea, como puede verse en el siguiente gráfico, que representa un día tipo para cada mes.

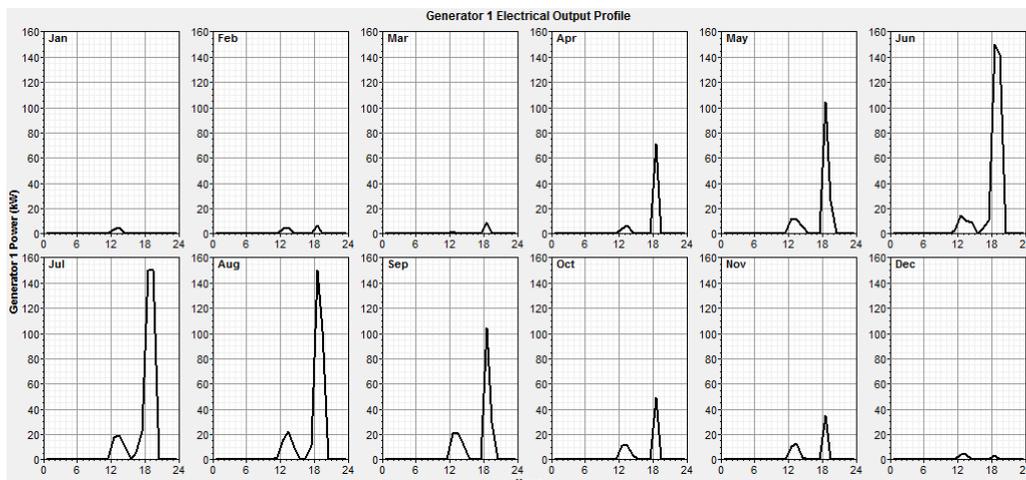


Ilustración 16: Entrada del generador en Mutoto por meses

Además, se ha podido observar que con estas potencias introducidas, las baterías únicamente entrarían a trabajar 3 meses al año, concretamente Junio, Julio y Agosto como se muestra en la imagen que se presenta a continuación, por lo que la vida útil de las baterías puede alargarse una gran cantidad de años.

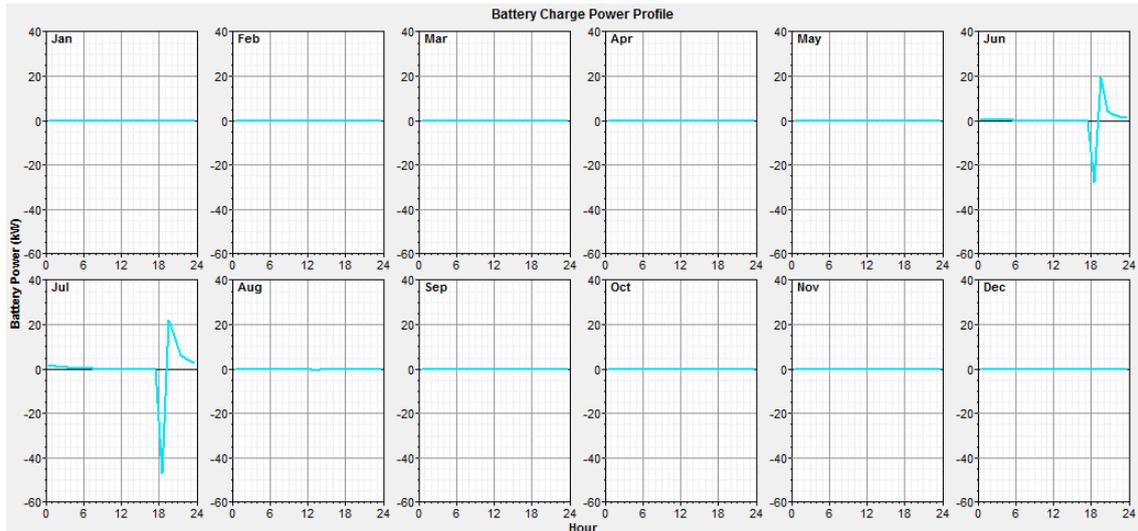


Ilustración 17: Entrada de las baterías por meses en Mutoto

En este sentido, se va a comparar este estudio con la introducción de una mayor cantidad de baterías y una reducción de potencia de la caldera de biomasa instalada. Por consiguiente, se considera instalar 4 calderas de biomasa de 15 kW cada una, y un total de 80 baterías. En este sentido los resultados se presentan a continuación.

De este modo se consigue que estos nuevos equipos trabajen un mayor número de horas al año y se les saque un mayor partido.

	Inversión inicial	Capital anualizado (€/año)	Reemplazamientos (€/año)	Operación y mantenimiento (€/año)	Gastos combustible (€/año)	Total (€/año)	Total (25 años)
Fotovoltaica	600.000,00 €	46.936,00 €	0,00 €	5.000,00 €	0,00 €	51.936,00 €	1.298.400,00 €
Hidroeléctrica	1.000.200,00 €	78.242,00 €	0,00 €	11.500,00 €	0,00 €	89.742,00 €	2.243.550,00 €
Generadores de biogás	428.000,00 €	25.659,00 €	3.418,00 €	5.709,00 €	51,00 €	34.837,00 €	870.925,00 €
Baterías	72.000,00 €	5.632,00 €	1.072,00 €	100,00 €	0,00 €	6.804,00 €	170.100,00 €
Convertidor	119.000,00 €	9.309,00 €	0,00 €	100,00 €	0,00 €	9.409,00 €	235.225,00 €
Total	2.219.200,00 €	165.778,00 €	4.490,00 €	22.409,00 €	51,00 €	192.728,00 €	4.818.200,00 €

Tabla 34: Resumen costes instalación con instalación de mayor cantidad de baterías en Mutoto

Sin embargo, puede observarse que el coste final de la instalación en cuanto a inversión resulta ser más caro que la anterior, pero a largo plazo, finalmente el coste de la instalación resulta ser inferior al anterior. De este modo, habrá que barajar cual de las dos opciones es la más idónea para llevar a cabo.

3.2.4. Regiones tipo 4

Quedan por consiguiente por analizar tres regiones, que se van a analizar por separado, por presentar cada una de ellas características no comunes entre ninguna del total de regiones de la RDC. Estas regiones son Katanga, Bajo-Congo y Kinshasa.

- KATANGA:

Katanga es una región que cuenta con innumerables recursos energéticos para el aprovechamiento de la energía renovable. Presenta una muy buena hidrografía, una muy buena radiación solar, fuertes desechos agrícolas capaz de ser utilizados en los gasificadores y una capacidad decente para el aprovechamiento de la energía eólica, haciéndola así una región especial frente a las demás por ser la que más recursos energéticos dispone.

En esta región la mayoría de las poblaciones son pequeñas con asentamientos que no superan los 10.000 habitantes y consumos energéticos muy pequeños, que con pequeñas instalaciones estarían servidos.

En muchos territorios pertenecientes a esta región, una instalación hidráulica de pequeña entidad, sería suficiente para suministrar la energía, ya que estas poblaciones cuentan la mayoría con 2.000 habitantes y una demanda pico de 150 kW. De esta forma, haciendo uso de un pequeño salto de agua y una turbina se podría hacer frente a esta demanda.

Con el fin de realizar un ejemplo, se ha tomado como referencia la villa denominada Musokatanda. Esta villa presenta las siguientes características.

Las características de la villa son las que se muestran a continuación.

Villa de Musokatanda	
Habitantes	1.625
Número de hogares	203
Personas por hogar	8

Tabla 35: Características de la villa de Musokatanda

En relación con las actividades socioeconómicas, esta región se basa en la agricultura principalmente de Yuca, arroz, maíz, plátanos, patatas, dulces, café. También basa su economía en la ganadería generalmente.

Es una zona muy poco industrializada que presenta la siguiente demanda a nivel industrial, más bien artesanal.

Potencia a nivel industrial	kW
Matadero	10
Cuartos refrigerados	10
Aserraderos	20
Pequeña artesanía	10

Potencia a nivel industrial	kW
Bombas de agua	20
TOTAL	70

Tabla 36: Demandas de potencia a nivel industrial en la villa de Musokatanda

En cuanto a la potencia de los hogares, la misma se cifra en 110 kW y el alumbrado público se cifra en 20 kW. Esto hace que la potencia total demandada ascienda a 130 kW.

A continuación, se ha realizado una combinación de una curva de demanda de tipo doméstica diaria con una de actividad industrial y otra de sector servicios para obtener la siguiente curva de carga diaria, cuyo pico de potencia se cifra en 156 Kw. Se presenta la curva de carga resultante y la resultante ya introducida en el programa de cálculo HOMER.

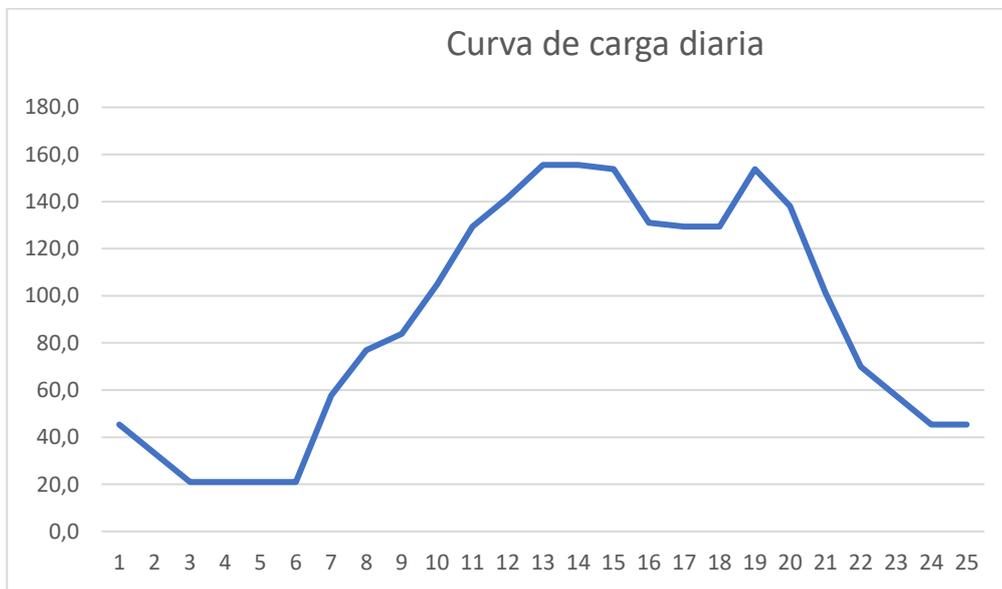


Ilustración 18: Curva de carga diaria de la instalación de Musokatanda

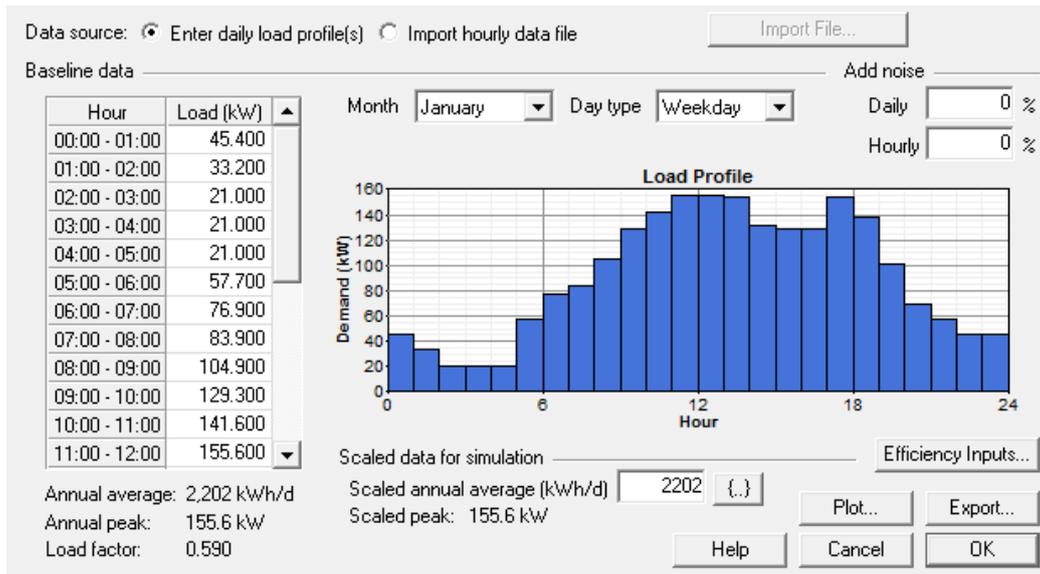


Ilustración 19: Curva de carga diaria en HOMER de Musokatanda

Tras introducir los datos de demanda energética en el HOMER, se han analizado los recursos energéticos para la zona objeto de estudio introduciendo los datos energéticos en el sistema.

A continuación, se presentan las características energéticas introducidas.

- Energía hidráulica.

La población se encuentra asentada sobre un río que cuenta con un caudal de 1.900 l/seg y donde se pueden realizar unas infraestructuras que permitan aprovechar un salto de 6 metros. Esto haría que se pudieran aprovechar 62 kW de potencia hidráulica.

A continuación, puede observarse el nivel de caudal a lo largo del año en la cuenca del río objeto de estudio.

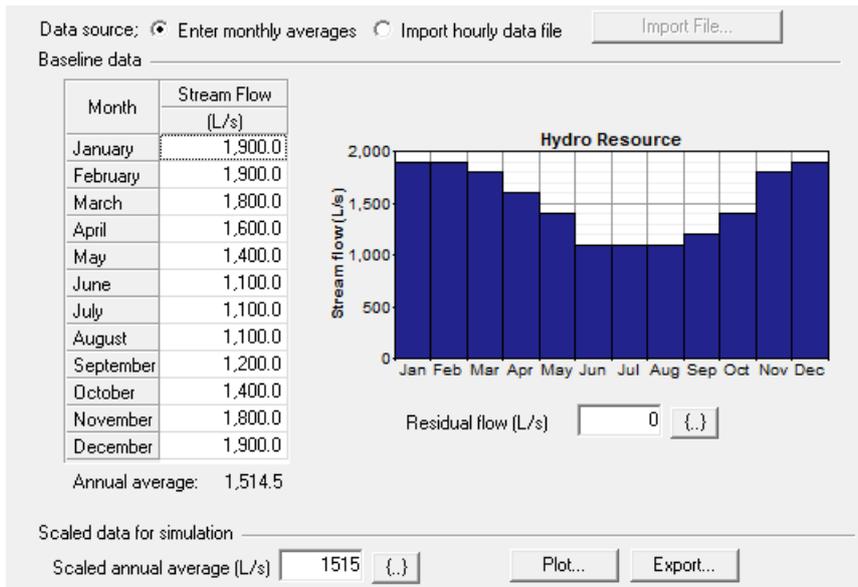


Ilustración 20: Recursos hídricos en la villa de Musokatanda

- Solar fotovoltaica.

Mediante el uso del PVGIS se ha obtenido la radiación horizontal para la zona objeto de estudio, que se ha introducido en el programa, así como la latitud y la longitud del lugar.

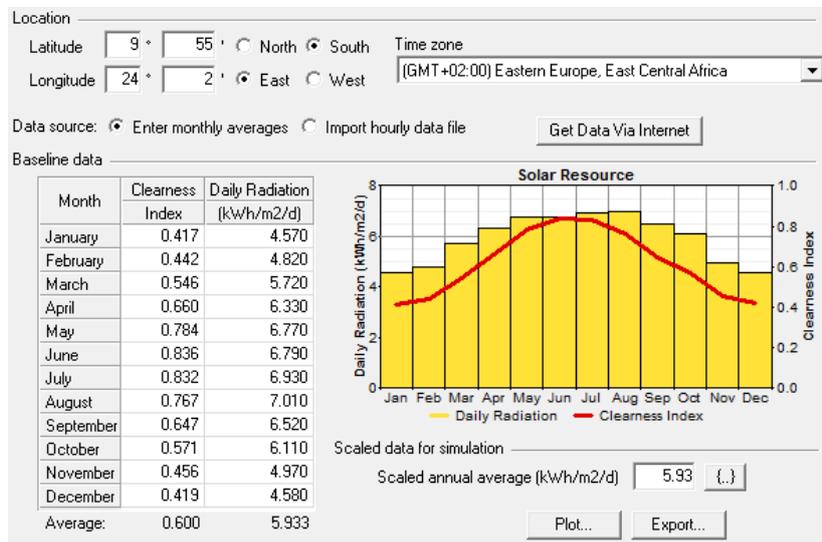


Ilustración 21: Recursos solares en la villa de Musokatanda

Como puede observarse, la media de radiación alcanza los 5,93 kWh/m²/día, siendo uno de los valores más altos que se puede encontrar en la RDC.

- BIOMASA

Los generadores utilizados para el aprovechamiento de la biomasa transforman la biomasa en biogás para quemar el mismo y así generar electricidad. Según datos del fabricante para poder suministrar una potencia de 150 kW se necesitan 150 kg/h, lo que haría un total de 3.600 kg/h/día si se el generador trabajase a plena potencia durante todo el día. En el caso de estudio se ha considerado instalar un total de 1 generador de biomasa, puesto que por las noches, para hacer frente a la falta de fotovoltaica, así como aquellos días nublados es necesaria la instalación de un aporte de energía extra. Debido a la existencia de 1 generadores de biomasa, se necesitarán como mínimo alrededor de 4 toneladas de biomasa al día en la instalación.

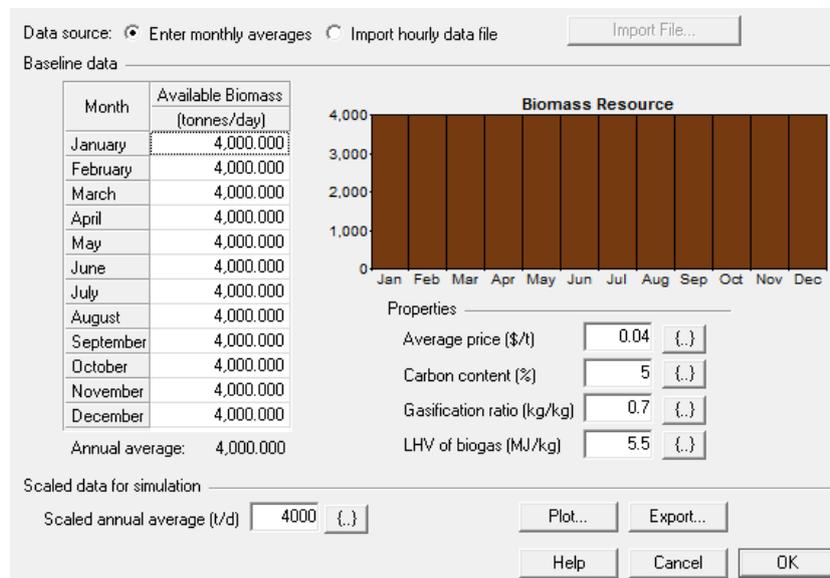


Ilustración 22: Disponibilidad de biomasa necesaria para la instalación en Musokatanda

De esta forma, introduciendo esta cantidad de biomasa, será suficiente para suministrar la misma a los generadores de biogás.

Tecnológicamente hablando se han introducido las siguientes características.

- Energía minihidráulica

En total hay instalados 62 kW que se irán modulando en función de las necesidades eléctricas de la zona.

Se aprovechará un salto de 6 metros en un río con un caudal de 1.400 l/seg y se considerarán unas pérdidas del 15 %

El coste del proyecto asciende a 104.000 €

- Energía solar fotovoltaica

Se ha planteado una instalación solar de 70 kW, que supone un coste de 90.000 € aproximadamente. La inclinación de los paneles se ha considerado de 8° y 180° Azimuth. Un 10 % de pérdidas térmicas y suciedad, así como un 20 % de grado de reflectividad de los paneles.

- Generadores de Biogás.

Se han considerado instalar 1 generador de biogás de 150 kW con un consumo máximo de 1 kg/h por cada kW consumido.

El fabricante de estos generadores se corresponde con All Power Labs, siendo el coste de cada uno de ellos de 150.000 €, suponiendo de este modo una inversión de 200.000 € en generadores de biogás.

En total son necesarias 400 toneladas, a pesar de haberse puesto necesarias 4 toneladas al día. Esto hace ver que la disponibilidad de biomasa es suficiente en la zona.

- Convertidor.

Se precisa la instalación de un convertidor de 200 kW que sea capaz de trasegar toda la potencia generada por la instalación fotovoltaica y la instalación de aerogeneradores.

La ratio de precios actual de los convertidores se encuentra alrededor de los 160-200 €/Kw, por lo que considerando un ratio de estas características se obtiene que se precisa una inversión de 34.000 € en convertidores.

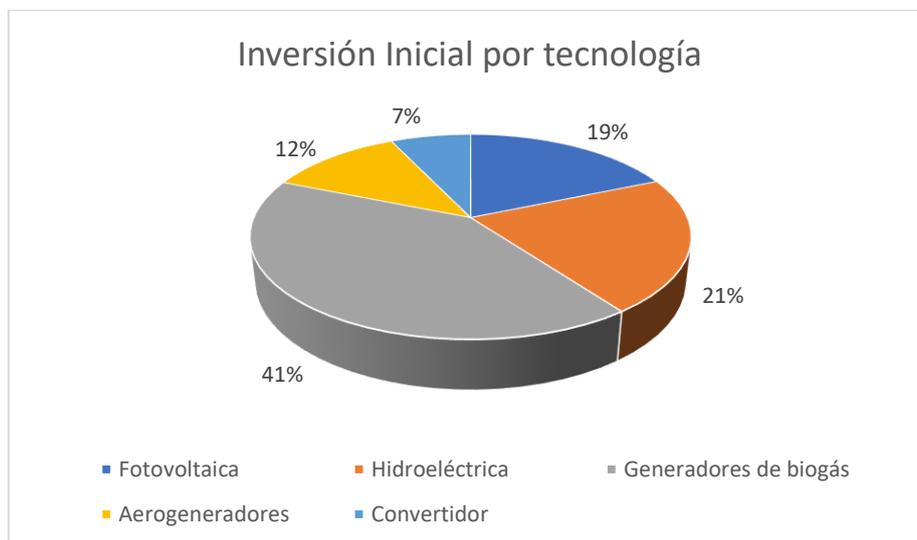


Ilustración 23: Inversión inicial por tecnología en Musokatanda

Puede observarse que la tecnología más cara en inversión inicial en este caso son los generadores de biogás, seguida de la hidráulica, con un 21 % de los costes. La energía fotovoltaica representa un 19 %, los aerogeneradores un 12 % y un 7 % los convertidores.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los costes de la instalación.

	Inversión inicial	Capital anualizado (€/año)	Reemplazamientos (€/año)	Operación y mantenimiento (€/año)	Gastos combustible (€/año)	Total (€/año)	Total (25 años)
Fotovoltaica	90.000,00 €	7.040,00 €	0,00 €	3.000,00 €	0,00 €	10.040,00 €	251.000,00 €
Hidroeléctrica	103.335,00 €	8.084,00 €	0,00 €	5.000,00 €	0,00 €	13.084,00 €	327.100,00 €
Generadores de biogás	150.000,00 €	11.734,00 €	2.850,00 €	2.000,00 €	15,97 €	16.599,97 €	414.999,25 €
Aerogeneradores	57.000,00 €	4.459,00 €	0,00 €	1.500,00 €	0,00 €	5.959,00 €	148.975,00 €
Convertidor	36.000,00 €	2.816,00 €	0,00 €	100,00 €	0,00 €	2.916,00 €	72.900,00 €
Total	436.335,00 €	34.133,00 €	2.850,00 €	11.600,00 €	15,97 €	48.598,97 €	1.214.974,25 €

Tabla 37: Resumen costes de generación en Musokatanda

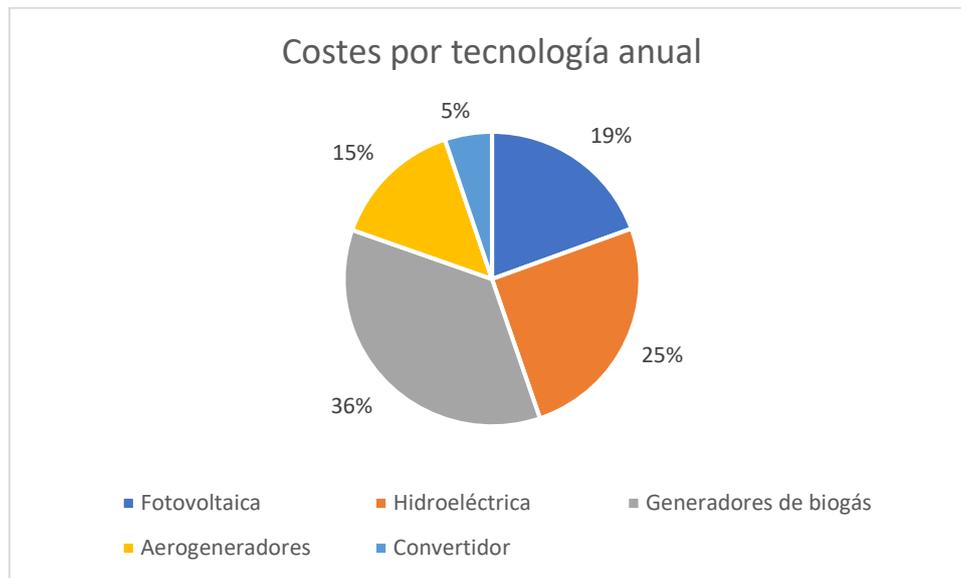


Gráfico 43: Distribución de Costes de generación por tipo de tecnología en Musokatanda

En referencia a datos eléctricos, la fotovoltaica produce el 20 % de la energía, la energía hidráulica un 72 % y los generadores un 8 %.

	Energía producida (kWh)
Fotovoltaica	150.570
Hidroeléctrica	497.972
Aerogenerador	102.470
Generadores	171.339
Total	922.351

Tabla 38: Generación eléctrica por tecnología en Musokatanda

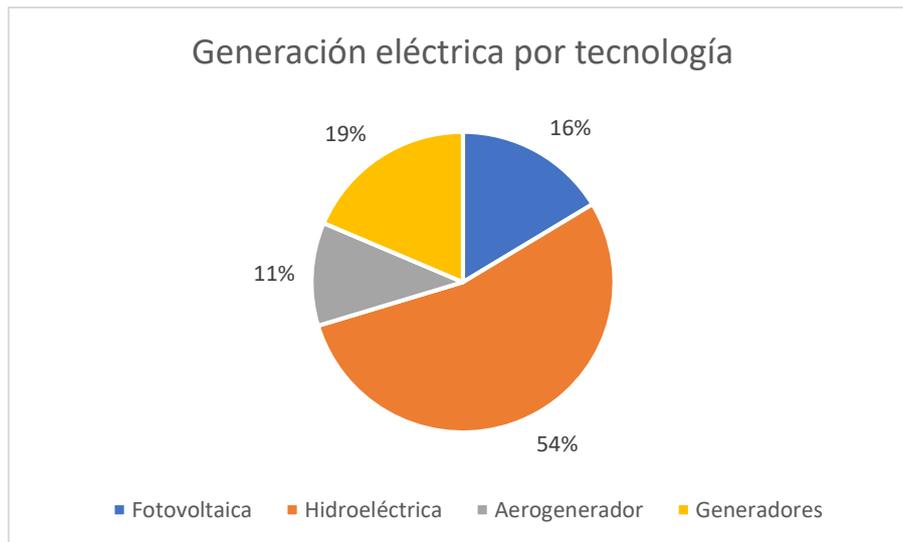


Gráfico 44: Distribución de generación eléctrica por tecnología en Musokatanda

El gráfico anterior muestra que la tecnología más fiable y de mayor consumo se debe a la energía hidroeléctrica, con un 54 %; mientras que la fotovoltaica genera el 16 %, frente al 19 % del generador y el 11 % de los aerogeneradores, que son los que menos energía generan.

Ante esta situación, se puede estudiar la posibilidad de introducir baterías en lugar del generador de biomasa, del que se tiene que estar dependiendo de la disponibilidad de biomasa para poder generar energía eléctrica, así como recargando la instalación continuamente.

El principal problema reside en que esto provocaría un aumento del coste de la instalación, puesto que había que mayorar la instalación fotovoltaica aproximadamente a 250 kW e introducir una gran cantidad de baterías y finalmente habría que instalar también como mínimo un pequeño generador de biomasa como repuesto a los días en los que no hay sol suficiente para cargar las baterías durante un largo periodo de tiempo.

Se ha realizado un estudio y los costes totales de la instalación se incrementan alrededor de los 800.000 € a lo largo de los 25 años.

Habría que valorar por tanto la disponibilidad económica de la zona, así como la mayor facilidad tecnológica de la instalación fotovoltaica e instalación de baterías frente a la generación mediante generadores de biogás. En este sentido quizás sería más fácil la utilización de las baterías.

3.3. Resultados Obtenidos por Región.

A continuación, se muestra una tabla resumen en función de las regiones tipo analizadas, con información respecto a la mejor combinación de renovables en cada una de ellas.

	Regiones tipo 1	Regiones tipo 2	Regiones tipo 3(Opc	Regiones tipo 3 (Op	Región tipo 4
% Generación Hidráulica	78%	76%	74%	75%	54%
% Generación Solar	10%	15%	14%	13%	16%
% Generación Biomasa	12%	9%	13%	11%	19%
% Generación eólica	Sin recurso eólico	Sin recurso eólico	Sin recurso eólico	Sin recurso eólico	11%
% Generación Baterías	0%	0%	0%	0%	No hay baterías
% Exceso de electricidad	18%	36%	20%	21%	10%
Ratio Emisiones de CO2	4%	3%	5%	4%	4%

Tabla 39: % de generación por tecnología en cada una de las regiones

Antes de realizar el análisis, para tener una mayor visión general de los porcentajes que se muestran, hay que conocer los recursos disponibles de cada región, tal y como se ha analizado en puntos anteriores.

- Regiones tipo 1:
5,5 kWh/m², hidráulica constante a lo largo del año y buena disponibilidad de biomasa.
- Regiones tipo 2:
5,34 kWh/m², hidráulica importante y constante a lo largo del año y limitada disponibilidad de biomasa.
- Regiones tipo 3:
5,41 kWh/m², hidráulica limitada ciertos meses del año y buena disponibilidad de biomasa.
- Regiones tipo 4:
5,93 kWh/m², hidráulica limitada ciertos meses del año, buena disponibilidad de biomasa y buen recurso eólico.

Cabe comentar además, que los resultados de biomasa u otras tecnologías pueden variar también en función de cómo se haya cubierto la demanda y qué tipo de tecnología sea la mayoritaria.

A continuación, se presentan gráficamente estos resultados.

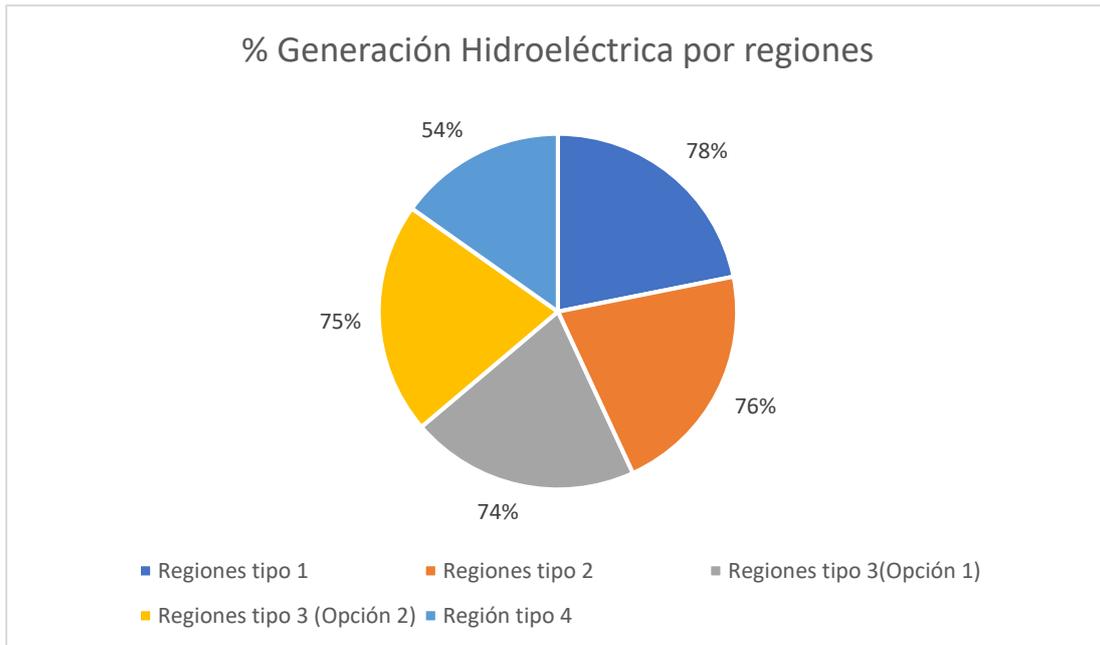


Gráfico 45: % Generación Hidroeléctrica por regiones

Como puede observarse, la generación hidroeléctrica, es prácticamente constante en todas las regiones, con porcentajes muy similares de generación en cada una de las regiones, salvo en la región de Katanga, que presenta un 54 %. Habrá que observar de forma más minuciosa en los gráficos por meses como varía la generación eléctrica.

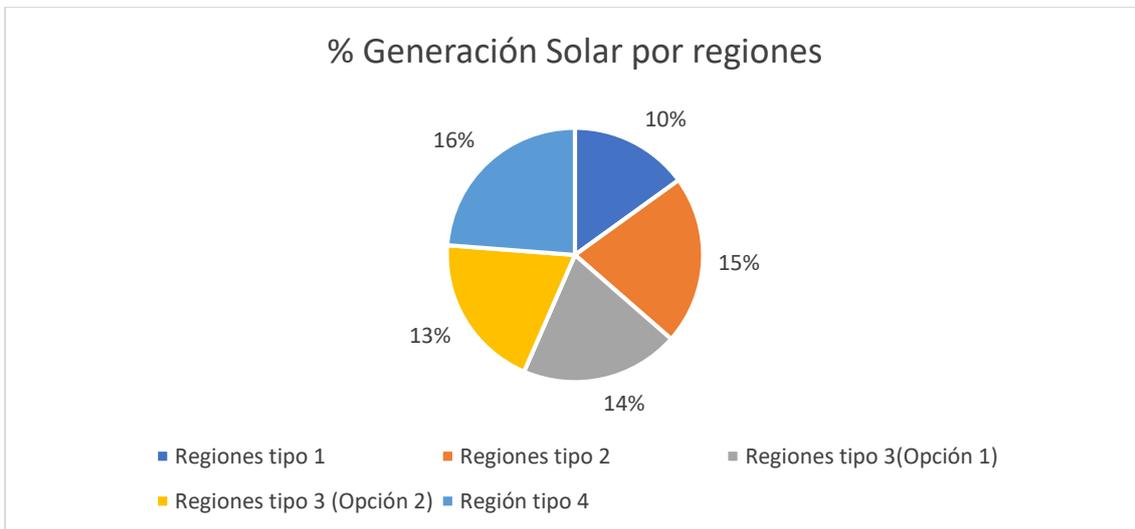


Gráfico 46: % Generación solar fotovoltaica por regiones

Como puede verse en el anterior gráfico, la generación fotovoltaica supone en todas las regiones, alrededor del 13-14 % de generación. La región tipo 4 que se corresponde con la región de Katanga, es la mayoritaria con un 16 %, y que además se trata de la región que mayor irradiancia posee. Estos hechos hacen ver que la irradiancia es muy parecida en todas las regiones.

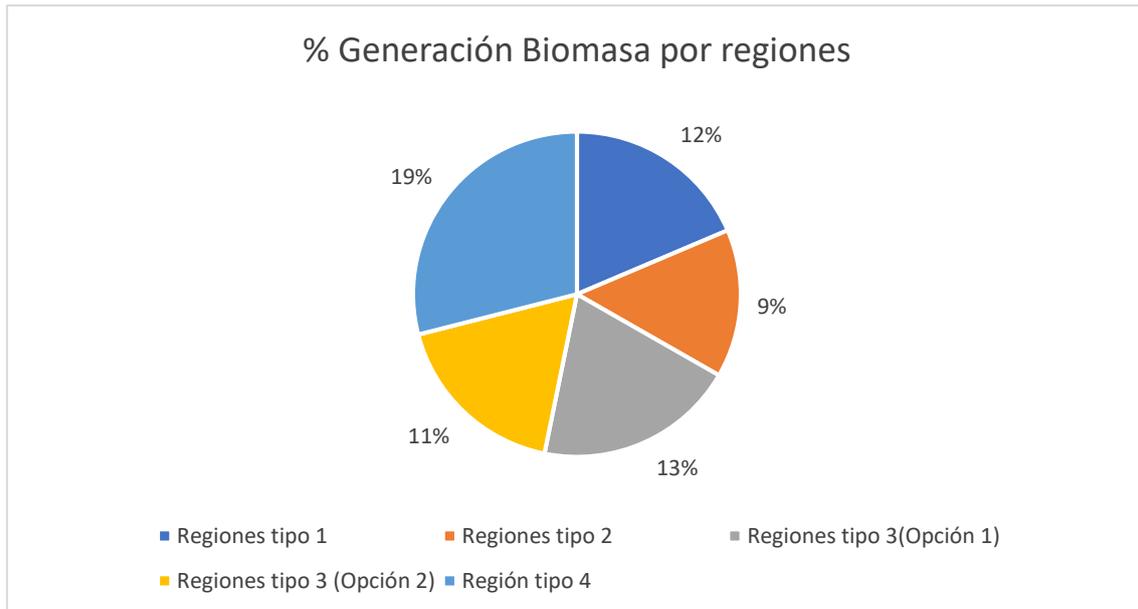


Gráfico 47: % Generación Biomasa por regiones

Al igual que para el caso de la tecnología solar, la región de Katanga, cuenta con el mayor porcentaje de utilización de biomasa, con un 19 %.

Las regiones de tipo 2, son aquellas que cuentan con una menor cantidad de recursos provenientes de la biomasa, y es por ello que presentan el menor porcentaje de aprovechamiento, con un 9 %.

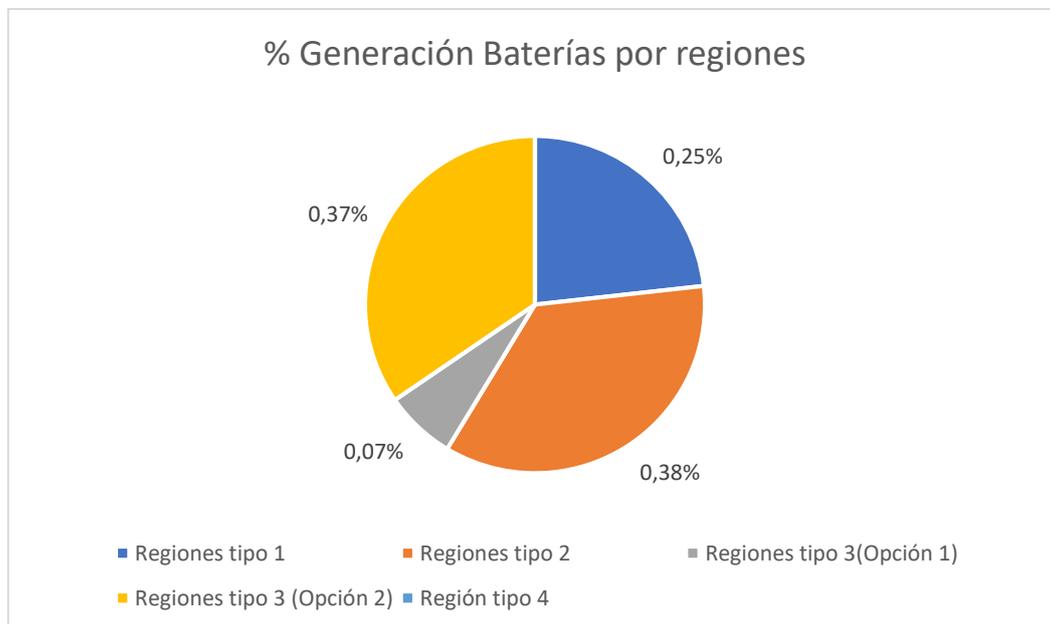


Gráfico 48: % Generación Baterías por regiones

La región tipo 4, que es Katanga no presenta baterías, ya que gracias al buen recurso renovable que presentan es más que suficiente para suplir la demanda. Por consiguiente, los porcentajes de consumo de baterías son muy parecidos en todas las regiones, con un 0,25 % en las Regiones tipo 1, un 0,37 y 0,38 % en las regiones tipo 3 y tipo 2. Como puede verse, en la

región tipo 3, que es la opción 1, solo el 0,07 % es consumido por medio de las baterías, ya que se corresponde con la opción de menor instalación de baterías.

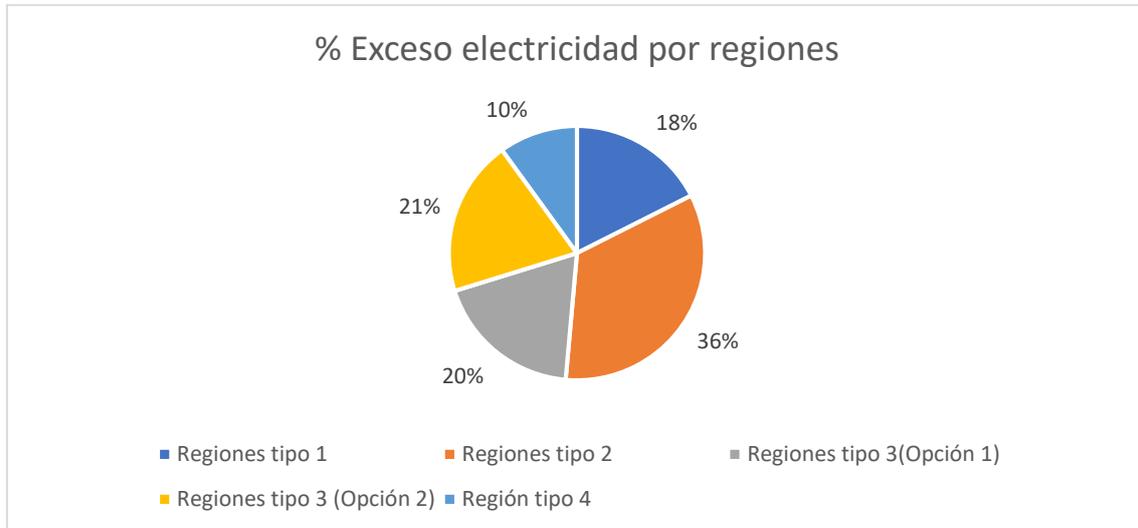


Gráfico 49: Exceso Electricidad Por regiones

Los excesos de electricidad son muy dispares con porcentajes muy variados. Dependen de las características del lugar. En aquellas zonas en las que el recurso hídrico es constante a lo largo del año aparece mayor exceso de electricidad que en aquellos lugares en los que en ciertos meses los niveles de los ríos decrecen. Por ejemplo, esto se muestra en las regiones tipo 2, donde la energía hidráulica es muy constante a lo largo del año, que muestran un 36 %, frente al 10 % que muestra por ejemplo la región tipo 4 de Katanga. Las demás regiones cuentan con porcentajes de exceso de electricidad similares.

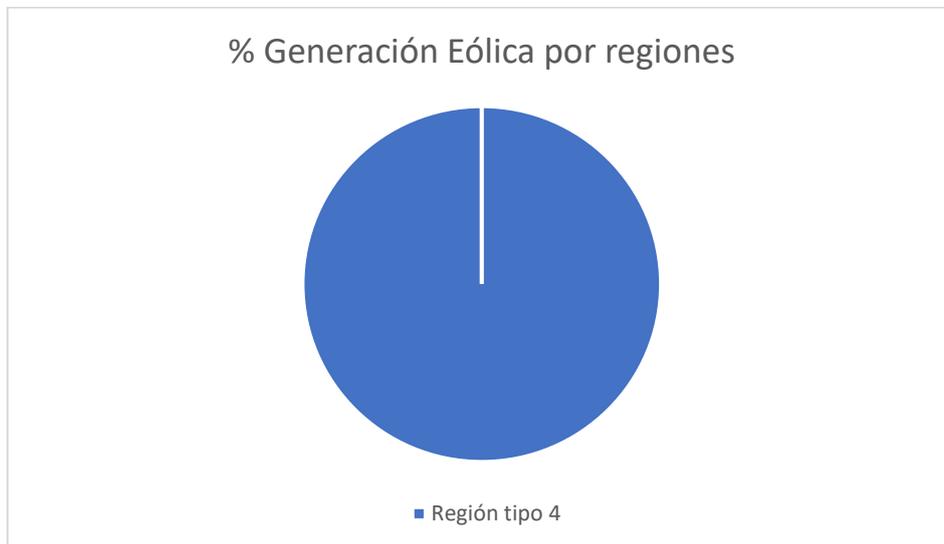


Gráfico 50: Generación eólica por regiones en la RDC

La generación eólica en la RDC se limita a la región tipo 4.

Finalmente, a continuación se presenta el ratio de emisiones por tipo de región con porcentajes muy similares entre ambos, y que cabe comentar, que son niveles de emisión muy bajos.

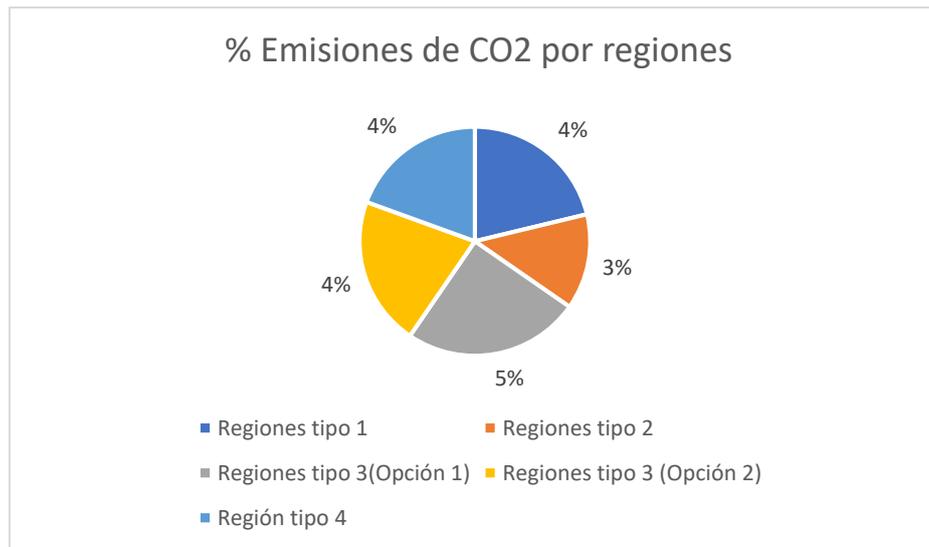


Gráfico 51: Ratio de emisiones de CO2 por regiones

Finalmente, se presentan los resultados numéricos que se han obtenido para cada región.

DATOS EN kWh	Regiones tipo 1	Regiones tipo 2	RT3 (Opción 1)	RT3 (Opción 2)	Región tipo 4
Generación Hidráulica	10.252.537	5.749.915	4.087.031	4.237.023	497.972
Generación Solar	1.350.688	1.115.510	761.562	761.562	150.070
Generación Biomasa	1.567.234	716.191	707.460	644.653	171.339
Generación eólica	Sin recursos	Sin recursos	Sin recursos	Sin recursos	102.470
Generación Baterías	32.711	28.700	4.028	20.856	No hay baterías
Exceso de electricidad	2.427.186	2.701.432	1.097.455	1.178.936	96.421
Generación	13.170.459	7.581.615	5.556.053	5.643.239	922.351

Tabla 40: Resumen resultados energéticos de los sistemas híbridos renovables

Los datos de generación varían en función del número de habitantes de la población y la demanda pico de esta instalación.

4. CONCLUSIONES.

Los próximos años se presentan como un reto para toda la población mundial. Muchos de los países en vías de desarrollo comenzarán a desarrollarse y, por consiguiente, aumentarán su consumo energético.

A lo largo de este trabajo, se ha visto que esto supone un reto debido a la alta contaminación atmosférica actual, los altos niveles de CO₂, las limitadas reservas de petróleo y gas natural y los continuos conflictos entre países por la producción y provisión de productos energéticos. De este modo, se concluye que el desarrollo de estos países, como por ejemplo la India y China que ya están inmersos, pasa por la sostenibilidad y aprovechamiento de los recursos renovables de los países, disminuyendo la dependencia energética con otras naciones que puede provocar la inestabilidad.

En África, y otros países orientales, todavía queda mucho trabajo por hacer en el desarrollo energético, ya que todavía existen muchas poblaciones sin acceso a la electricidad y otras formas de energía. Es por ello por lo que se ha elegido la República Democrática del Congo en el estudio, puesto que se trata de uno de los países más pobres del mundo con una de las tasa de electrificación más bajas.

Desde un primer momento a la hora de analizar la situación energética de la RDC se ha visto la escasez de acceso a la electricidad en todo el país y la cantidad de villas y aldeas aisladas que no cuentan con unos servicios mínimos energéticos. Tras el análisis de la situación energética derivada de la Agencia Internacional de Energía y su comparación con España se han podido corroborar estos hechos.

En este sentido la RDC ofrece una oportunidad para demostrar las posibilidades de poder llevar a cabo un desarrollo sostenible en los países que todavía están por desarrollar. En este sentido se presenta este trabajo donde se elabora un detallado estudio sobre la situación energética en la RDC y sus oportunidades energéticas para un futuro.

Primeramente, se ha analizado la situación energética y se ha realizado un escenario BAU con las tendencias actuales, observando que, si no se actúa, la RDC seguirá siendo un país con una electrificación prácticamente nula. Seguidamente, se ha analizado el impacto de un escenario exploratorio basado en renovables, en el que se han introducido una serie de variables para lograr los objetivos de electrificación que se quieran proponer hasta el año 2.035, obteniéndose unos resultados muy optimistas con una producción energética muy alta año a año, si se quieren alcanzar esos objetivos.

Alcanzar estos objetivos propuestos supone la implementación de medidas como la generación mediante grandes centrales hidroeléctricas para las grandes urbes, en las que hay facilidad de acercar las grandes redes eléctricas con las que cuenta el país. Sin embargo, las aldeas, villas y pequeñas ciudades que se encuentran alejadas y en sitios recónditos, se propone optar por los sistemas híbridos renovables para la consecución de los objetivos y el acercamiento de la energía eléctrica.

Al tratarse de un país tan grande, hay varias zonas con distintos climas y por consiguiente también distintos recursos energéticos. Es por ello por lo que se han

estudiado 4 configuraciones de sistemas híbridos distintos dependiendo de las oportunidades energéticas de cada región y sus necesidades energéticas.

A pesar de la dificultad en la elección de la mejor tecnología y dimensionado para satisfacer las necesidades de demanda, se presenta en el análisis micro-energético de este trabajo las configuraciones más prometedoras para cada una de las regiones.

El presente trabajo muestra que un desarrollo sostenible de los países que todavía están en desarrollo es necesario y posible. Sin embargo, todavía existe un gran número de regiones en el mundo donde el acceso a la energía es escaso y los servicios energéticos mínimos no están cubiertos, como es el caso de la República Democrática del Congo. La integración de sistemas renovables híbridos como generadores distribuidos permite abastecer eléctricamente a estas regiones de una manera fiable, garantizando estos servicios mínimos de acceso a la electricidad. Si bien una sola tecnología renovable puede cubrir solo parte de la demanda, la hibridación de diferentes generadores renovables ofrece una oportunidad de generación y suministro fiable de energía eléctrica para regiones aisladas de la red.

5. BIBLIOGRAFÍA.

Apuntes de la asignatura perteniente al máster MUTEDS “Sistemas híbridos renovables”

“World Energy Outlook, (Perspectivas de la energía en el mundo), publicado en el año 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, IEA)

“Atlas des Energies Renouvelables de la RDC”, publicado en el año 2014 por el Ministerio De Recursos hidráulicos y electricidad.

ANEXOS

ANEXO 1: Tecnología utilizada

La tecnología utilizada ha sido muy variada en función de las distintas tecnologías que se han ido proponiendo.

En el caso de la solar fotovoltaica, no se han introducido las características de un cierto panel fotovoltaico, ya que el Homer tiene por defecto unas características técnicas de los paneles fotovoltaicos introducidas que son globales. Como se ha visto anteriormente, sí que se introducen los datos relativos a irradiación solar media mensual, así como la latitud y longitud del lugar objeto de estudio.

De este modo, para esta tecnología, únicamente se ha procedido a introducir los datos referentes a potencia pico de la instalación, modo de seguimiento solar y costes.

En referencia a la instalación hidráulica, tampoco se ha tenido en cuenta el tipo de tecnología, ya que la energía hidráulica depende principalmente del salto de agua para calcular la potencia hidráulica y la cantidad de agua que es capaz de moverse. Con estos dos datos HOMER calcula la potencia eléctrica que se es capaz de generar con esta instalación. Únicamente habría que introducir los costes de inversión, que han sido obtenidos por medio de biografía. Con ello se ha procedido a estudiar varias instalaciones minihidráulicas y sus costes de inversión, obteniéndose así un ratio de €/kW que se ha cifrado en 1.667 €/kW.

Las baterías usadas se han correspondido con las baterías Hoppecke 24 OPzS 3000, que cuentan con una densidad energética de 3.000 Ah, y 2 V, cuyas características técnicas ya se encuentran introducidas en el software del programa. En referencia a los costes de estas baterías han sido obtenidas por medio de precios en internet, correspondiéndose el precio final con 900 €/batería.

El aerogenerador usado se corresponde con el Bornay 6.000 en el que se ha introducido su curva de potencias en función de la velocidad del viento. Esta curva es la que se presenta a continuación.

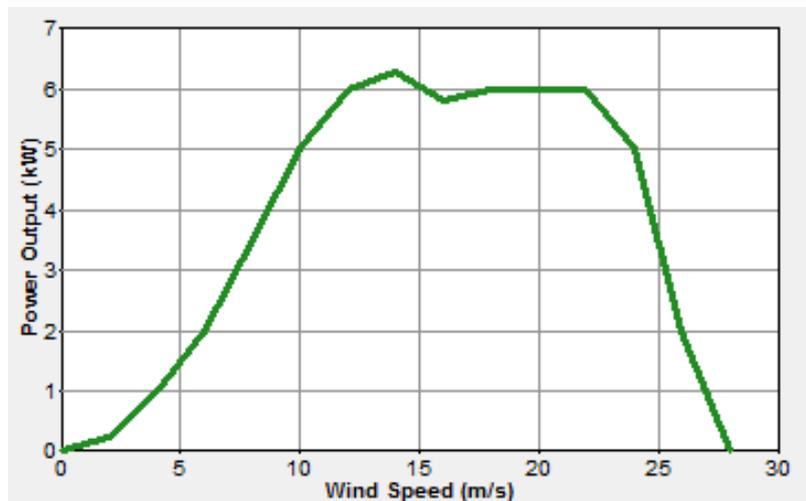


Gráfico 52: Curva de potencias en función de la velocidad del viento para Bornay 6.000

Los generadores de biogás utilizados se corresponden con aquellos que distribuyen All Power Labs con las siguientes características técnicas.



Ilustración 24: Imagen del generador de 150 Kw

BIOMASS FUEL CONSUMPTION		
PP20 Genset (@ 75% load)		
Runtime	Biomass Weight	Power Output
1 Hour	18 kg / 40 lb	15 kWh
8 Hours	144 kg / 317 lb	120 kWh
24 Hours	432 kg / 950 lb	360 kWh

Tabla 41: Características de consumo del generador

Finalmente, para el uso del convertidor, tampoco hay que poner características técnicas del mismo, únicamente la potencia que es capaz de trasegar y su coste. El coste del mismo se ha calculado mediante un precio medio aproximado en función de los precios del mercado de los convertidores.