

COGENERACIÓN DE ENERGÍA, ELÉCTRICA Y TÉRMICA, MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO BIOMASA-SOLAR PARA EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS EN LA ISLA DE CUBA



COORDINADOR:
FRANCISCO JAVIER DOMÍNGUEZ BRAVO



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA, INDUSTRIA
Y COMPETITIVIDAD

Ciemat

Centro de Investigaciones
Energéticas, Medioambientales
y Tecnológicas

**COGENERACIÓN DE ENERGÍA, ELÉCTRICA Y TÉRMICA,
MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO BIOMASA-SOLAR
PARA EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS EN
LA ISLA DE CUBA**

JAVIER DOMÍNGUEZ

FEDERICA CARRARO

SERGIO SÁNCHEZ

LUIS BÉRRIZ

ALOIS ARENCIBIA

LUIS ZARZALEJO

PILAR CIRIA

RAQUEL RAMOS

JOSE MARÍA SÁNCHEZ-HERVÁS

ISABEL ORTÍZ

MARTA MAROÑO

LUIS ARRIBAS

LUCIANO SANZ

LARA DE DIEGO

Es propiedad:

EDITORIAL CIEMAT
Avda. Complutense, 40
28040-MADRID
2017

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://www.060.es>

Depósito Legal: M-28408-2017
ISBN: 978-84-7834-780-3
NIPO: 058-17-040-7

El CIEMAT no comparte necesariamente las opiniones y los juicios expuestos en este documento,
cuya responsabilidad corresponde únicamente a los autores.

PRÓLOGO

Esta obra muestra el trabajo colectivo que ha representado el proyecto Hybridus, enmarcado en el compromiso de la AECID con el acceso universal a la energía, en especial de las poblaciones más vulnerables, en un contexto de lucha contra el cambio climático. Aunque formalmente iniciado en 2015, en el marco de la convocatoria de acciones de cooperación para el desarrollo, en realidad es fruto de un trabajo previo de años de varias instituciones, españolas y cubanas, en el ámbito de la energía renovable.

Esta sistematización de una experiencia concreta de cooperación técnica española sobre hibridación de sistemas energéticos renovables en Cuba permite una doble lectura: desde la más técnica, de la persona experta en este ámbito concreto del sector energético, a la del especialista en desarrollo interesado en las circunstancias particulares del caso.

La tecnología que se describe aquí es puntera y su pertinencia en la realidad cubana de hoy es alta y tiene un alto potencial, habiendo cobrado el sector de las renovables un interés máximo entre las autoridades de la isla, como describe más adelante CUBASOLAR. El CIEMAT ha vuelto a poner de nuevo al servicio de terceros y a disposición de los interesados todo su saber hacer, consolidando su excelente relación con la AECID. SODePAZ, en un capítulo específico, recoge algunos de los aspectos sociológicos clave del proyecto. La larga trayectoria de esta ONGD en el país en alianza con CUBASOLAR ha permitido que se diera una manera de trabajar tan enriquecedora como productiva, posibilitando la ampliación de su asociación a más instituciones, con las que comparten intereses y que se necesitan recíprocamente.

El proyecto Hybridus es un ejemplo excelente del potencial que encierra la cooperación en medioambiente en tiempos complejos, cuando se necesita más que nunca del esfuerzo coordinado de múltiples actores que representan intereses y saberes diversos y cuando se busca la complementariedad de perfiles, para que cada uno ofrezca lo mejor de sí. Superar la pobreza, formar, investigar, son las pasiones de las personas que firman los diferentes capítulos de esta publicación. Por ello, desde aquí celebramos todos estos años de compromiso, establecimiento de confianza mutua, que nos permiten comprobar cómo la suma de todos amplifica el horizonte de cada uno de nosotros.

Maite Martín-Crespo Muro, Jefa del Área de Medioambiente y Cambio Climático (AECID)

Esta publicación ha sido realizada con el apoyo financiero de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) con cargo al proyecto COGENERACIÓN DE ENERGÍA, ELÉCTRICA Y TÉRMICA, MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO BIOMASASOLAR PARA EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS EN LA ISLA DE CUBA (2015/ACDE/001558). Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente la opinión de la AECID.

INDICE

PARTE I.	INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1.	PRESENTACIÓN Y MARCO DEL PROYECTO (JAVIER DOMÍNGUEZ).	4
CAPÍTULO 2.	EL PAPEL DE LA SOCIEDAD CIVIL EN EL DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES DESDE LA PERSPECTIVA DE LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL (FEDERICA CARRARO Y SERGIO ESCRICHE)..	12
CAPÍTULO 3.	EL DESARROLLO EN CUBA DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA (DR. ING. LUIS BÉRRIZ PÉREZ Y MSc. ALOIS ARENCIBIA ARUCA).	23
PARTE II.	ESTUDIO DE ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES LOCALES DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-BIOMASA	45
CAPÍTULO 4.	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR (LUIS ZARZALEJO).....	47
CAPÍTULO 5.	EVALUACIÓN DE LA BIOMASA POTENCIAL (PILAR CIRIA Y RAQUEL RAMOS).....	61
CAPÍTULO 6.	CONDICIONES DE OPERACIÓN Y DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO BIOMASA-SOLAR (JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-HERVÁS, ISABEL ORTIZ, MARTA MAROÑO Y LUIS ARRIBAS)	87
CAPÍTULO 7.	EVALUACIÓN DEL COSTE DE ELECTRIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES LOCALES EN EL ÁREA DE DIAGNÓSTICO. (JAVIER DOMÍNGUEZ Y LUCIANO SANZ).	127
PARTE III.	CREACIÓN DE CAPACIDADES LOCALES.....	145
CAPÍTULO 8.	ESTRATEGIAS FORMATIVAS PARA LA CREACIÓN DE CAPACIDADES LOCALES Y NACIONALES EN EL MARCO DEL PROYECTO HYBRIDUS. (LARA DE DIEGO).	145
CONCLUSIÓN.	157
ACRÓNIMOS		159

PARTE I. INTRODUCCIÓN

El proyecto HYBRIDUS, financiado por la Agencia de Cooperación para el Desarrollo de España, es una apuesta por el desarrollo de sistemas híbridos enfocados al acceso universal a la energía. Este proyecto se inició a finales de 2015 y tiene una duración prevista de dos años, tras los cuales, se espera poner en marcha una instalación demostrativa que sirva para analizar el alcance de la propuesta desarrollada durante este proyecto. Este libro recoge los principales avances realizados en esta primera fase del proyecto y pretende servir tanto como síntesis de las estrategias desarrolladas como cimiento para la nueva fase que esperamos comenzar próximamente.

La hibridación de sistemas renovables, compuesta por dos o más sistemas de generación energética, es una solución con un alto potencial en múltiples lugares. Entre ellos, zonas aisladas del suministro eléctrico convencional, con necesidades específicas tanto de electricidad como de calor y con recursos que puedan asegurar su gestionabilidad y la satisfacción de la demanda de las poblaciones afectadas.

El proyecto HYBRIDUS, busca desarrollar un modelo de Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la Isla de Cuba, siendo su objetivo final la transferencia de ese conocimiento a las poblaciones potencialmente beneficiarias de la tecnología. El énfasis se pone en la zona oriental de la isla con especial atención al municipio de Guamá en la provincia de Santiago.

La apropiación de la tecnología por parte de la población se aborda a lo largo del proyecto a través de dos estrategias. La primera es adaptando la tecnología propuesta (sistema híbrido de gasificación de biomasa y fotovoltaico) a las condiciones locales, considerando en estas condiciones tanto los recursos como las necesidades de la población. Esta adaptación parte, además, de un análisis en profundidad de las experiencias previas. La segunda estrategia para alcanzar nuestro objetivo consiste en la creación de capacidades locales, utilizando los diferentes agentes implicados (beneficiarios/usuarios, operadores, técnicos, profesionales del sector energético...) de forma tal que desarrollen un proceso de apropiación tecnológica y aseguren la sostenibilidad en el tiempo y la capacidad de replicar la experiencia a otras poblaciones.

Este proyecto supone el desarrollo del acuerdo firmado entre CUBASOLAR y el CIEMAT y ha contado con la financiación de la AECID en el marco de su convocatoria de proyectos de

innovación. Por la parte española, participan SODePAZ y CIEMAT, y por la parte cubana CUBASOLAR.

El contenido que desarrolla este libro trata, como hemos apuntado, de reflejar todos los aspectos desarrollados en el proyecto. El documento se estructura en tres partes: introducción, estudio de hibridación y capacitación.

En el apartado de introducción se realiza una presentación general del proyecto y se recogen las impresiones de los socios participantes sobre las energías renovables en Cuba y la cooperación al desarrollo. En el apartado de estudio se aborda en primer lugar la caracterización de los recursos solares y biomásicos para a continuación entrar en detalle en las características de un sistema híbrido de gasificación de biomasa y energía solar fotovoltaica. Finalmente, se aporta una visión geográfica sobre las posibilidades de implementación de sistemas renovables para electrificación rural en el oriente cubano.

Capítulo 1. Presentación y marco del proyecto (Javier Domínguez ¹).

1.1 Presentación del proyecto.

El proyecto HYBRIDUS, *Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la Isla de Cuba*, se ha desarrollado a lo largo de dos años (2015-17) contando con el apoyo financiero de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) con cargo al proyecto (2015/ACDE/001558). Como se ha señalado, este proyecto surge de la colaboración entre la *Sociedad cubana para la promoción de las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental* (CUBASOLAR), la organización internacional no gubernamental *Solidaridad para el desarrollo y la paz* (SODePAZ) y el *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas* (CIEMAT) que actúa como coordinador.

El Proyecto pretende analizar y desarrollar la idoneidad de una planta hibridada con dos fuentes de energías renovables (biomasa sólida y energía solar fotovoltaica) que permita la generación de energía eléctrica y térmica, para proporcionar una solución al abastecimiento energético de calidad en explotaciones agropecuarias aisladas en las provincias orientales de Cuba. El sistema estaría formado por la combinación de un módulo de gasificación de biomasa, un sistema de limpieza de gases y uno o varios moto-generadores de 30-35 kWe de potencia en total, junto con otro de captación solar fotovoltaica de 5-10 kWe, formado por un campo de paneles y un sistema de almacenamiento, más el sistema de regulación. El conjunto podrá producir energía eléctrica mediante el módulo de motores duales (gas y biocarburante) y/o los paneles solares fotovoltaicos, así como energía térmica mediante el aprovechamiento de los humos de salida del motor y de sus fluidos de refrigeración. La aplicación de esta solución innovadora, orientada al lugar y a la demanda local en lugares remotos y mal electrificados, contará en este proyecto con tres pilares básicos: la articulación de los agentes implicados en la innovación y en el proceso productivo, la contextualización de la innovación a escala local y la creación de una comunidad del conocimiento que sustente la innovación.

¹ División de Energías Renovables (CIEMAT).

En los últimos años, numerosas iniciativas del gobierno cubano se han encaminado al aprovechamiento de energías sostenibles y recursos autóctonos que permitan reducir la dependencia energética en las explotaciones agropecuarias y contribuyan a mejorar las condiciones de vida de la población rural. Con este propósito, numerosas instituciones y agencias internacionales, han venido trabajando en diferentes proyectos relacionados con la biomasa y la energía solar fotovoltaica como fuente renovable de energía en el medio rural. Tecnológicamente, la hibridación de sistemas renovables se presenta a priori como la mejor opción tecnológica disponible para la electrificación de muchas zonas de Cuba, ya que al aprovechar fuentes de energía locales se minimizan los costes de instalación y operación y se garantiza la sostenibilidad ambiental y social de las infraestructuras energéticas.

El proyecto desarrolla estrategias para mejorar la eficiencia energética en el medio rural, colaborando a la transferencia interterritorial dentro del propio país. Para ello la gestión del sistema híbrido se diseña en base a la realidad local del área piloto, profundizando en sus particularidades en la demanda de energía, las necesidades sociales, la puesta en valor de los recursos energéticos y la sostenibilidad ambiental. Los principales colectivos beneficiados son los propios pobladores y trabajadores de las áreas de impacto.

Igualmente, este trabajo se desarrolla en un contexto en el que el estado cubano trabaja en el perfeccionamiento de su sistema social y económico. La política estatal favorece el desarrollo y uso de las energías renovables para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, implementando diferentes proyectos con el objetivo de aumentar la calidad de vida de las poblaciones rurales, en ocasiones altamente agrestes y dispersas en la serranía que no poseen servicio eléctrico eficaz. Por otro lado, el proceso de descentralización que están viviendo los municipios cubanos está encaminado al desarrollo de iniciativas de desarrollo local que generen ingresos, productividad, incremento de alimentos para la población y elevación de su calidad de vida. Entre los resultados esperados de esta estrategia está la contribución al sostenimiento de industrias y explotaciones agropecuarias, de tamaño pequeño y medio, que eviten el éxodo rural y favorezcan la creación de empleo local. En este sentido, poder disponer de un suministro eléctrico efectivo y que no perjudique al medio ambiente supone un derecho básico para las poblaciones rurales y una mejora de la calidad de vida que repercute directamente en estos derechos de las personas. El proyecto busca también atender a las necesidades e intereses de género dentro del ámbito de competencia del proyecto: tanto económicas, como sociales y de liderazgo.

La aplicación de esta solución innovadora permitirá optimizar dos procesos de producción de energías renovables exitosas ya probadas en Cuba: la producción de energía mediante biomasa de marabú y mediante energía solar fotovoltaica, ofreciendo una mejora en la disponibilidad energética de poblaciones rurales con escaso o nulo servicio eléctrico. La productividad del trabajo en las comunidades se incrementará, dejando de consumir una cantidad considerable de diésel, mejorando la calidad de vida de la población rural, garantizando la iluminación doméstica, la conservación de alimentos y la oferta de servicios de mayor calidad. Además, la población verá incrementar su nivel de conocimiento al tener mayores posibilidades de información a través de la radio y la televisión; los niños incrementarán sus habilidades teniendo acceso a las nuevas tecnologías y a la posibilidad de realizar actividades recreativas en horas nocturnas.

En la actualidad, existen soluciones que buscan responder a los mismos problemas identificados. A raíz de la crisis energética de 2004, el gobierno cubano priorizó el uso y desarrollo de las fuentes renovables para la producción de electricidad y el ahorro de combustibles fósiles, continuando con esta prioridad en los años siguientes. De esta forma, el 5% de la energía en Cuba se obtiene a partir de fuentes renovables de energía (FRE), y de este, casi el 90% proviene de la agroindustria azucarera. El incremento paulatino de las FRE es una necesidad ante el aumento de los precios de los combustibles y el agotamiento de los recursos. La biomasa para generar energía eléctrica está entre los programas que desarrolla el Ministerio de Agricultura cubano, habiéndose iniciado sus objetivos en varias localidades y provincias. Además, el gobierno también pretende convertir al país en una potencia en generación solar, ya que según los estudios, el territorio cubano recibe 1.800 veces más irradiación que toda la producida por el petróleo consumido por sus respectivos sectores industriales, residenciales y de servicios a la población.

La filosofía y el objetivo último de este proyecto es disponer de la tecnología y *know-how* necesarios que permitan llevar a cabo el diseño integral de procesos limpios y eficientes para la obtención de energía eléctrica y/o térmica mediante dos tipos de energía renovable. En este sentido, el proceso, debiera ser un ejemplo tanto a nivel de tecnología como de rentabilidad económica. Es decir, la línea que se propone en el Proyecto tiene en todo momento un hilo conductor basado en criterios de desarrollo sostenible, tanto a nivel medioambiental como de operatividad, para que las futuras instalaciones híbridas tengan, por sí mismas, una salida al mercado.

Los criterios de sostenibilidad a tener en cuenta consideran aspectos a tres niveles:

a) Medioambiental: La gasificación de biomasa es un proceso sostenible en sí mismo, no produce emisiones contaminantes y emplea fuentes o materias primas de origen renovable. Se trata de una tecnología limpia y eficaz que permite generar energía eléctrica a partir de residuos biomásicos.

b) Operatividad: favorece la estrategia de "microgeneración de energía distribuida" orientada a potenciar el desarrollo de microestaciones o plantas modulares que tengan por sí mismo salida y demanda en el mercado. Este tipo de plantas a pequeña escala permite suministrar energía a puntos de consumo próximos y autoabastecer pequeñas explotaciones evitando pérdidas de energía por transporte, también propiciando el uso de la energía térmica (\approx 70%) en algunos usos locales (salas de ordeño, secaderos, calefacción, ACS, generación de frío, etc.).

c) Socio-económico: Uno de los aspectos más significativos es el impacto socio-económico que puede tener el Proyecto. En términos de creación de empleo y revitalización de la economía rural, la bioenergía es la renovable que más empleo crea en relación con sus equivalentes fósiles. Así, la bioenergía de uso térmico genera el doble de empleo, la de uso eléctrico entre 10 y 20 veces superior, y los biocombustibles entre 50 y 100 veces más. El desarrollo de este Proyecto será beneficioso para activar la economía y fijar población así como facilitar la explotación sostenible de los recursos naturales.

Los principales factores para la elección de este sistema son:

1. Disponibilidad de los recursos (tanto en cantidad como en calidad).
2. Disparidad de los escenarios de aplicación, con unos consumos energéticos sin definir.
3. Capacidad de integrar los sistemas y extraer de cada una de las fuentes las mejores características para necesidades dispares.

Las principales ventajas del sistema propuesto respecto a otros similares o convencionales son:

- Versatilidad: el suministro de energía no depende sólo de una fuente renovable.

- Controlabilidad: permiten adecuar la generación a las características de biomasa empleada, así como al tipo y demanda de energía.
- Adaptabilidad: puede ser empleado por una amplia variedad de residuos biomásicos.
- Modularidad: el sistema puede, en función de las necesidades, aumentar su capacidad de generación.
- Fácil mantenimiento: el diseño tiene en cuenta la disponibilidad y simplicidad de la tecnología.

Entre los objetivos centrales del trabajo de investigación está el cumplimiento de las directrices rectoras del desarrollo económico y social de Cuba, en correspondencia a la política trazada por la dirección del país en los Lineamientos de la Política Económica y Social. Así, se pretende contribuir a la diversificación de la matriz energética nacional mediante la introducción gradual y progresiva de las energías renovables, imprimiendo un sesgo de renovabilidad sostenible y utilización adecuada de los recursos disponibles territorialmente y el empleo de tecnologías al alcance de las posibilidades del país, garantizando la sustentabilidad del sistema. Además se alinea con las directrices rectoras para el desarrollo económico y social del país, que se expresan en los diferentes elementos que rigen el desarrollo económico y que inciden en el ordenamiento territorial, la sostenibilidad y los procesos energéticos.

1.2 Desarrollo del proyecto y resultados

Para el desarrollo exitoso de este programa, se ha contactado con varios actores que ya hemos enunciado al principio de este capítulo. Los roles de los miembros de la agrupación y del socio local han sido los siguientes:

El CIEMAT, lidera el proyecto y cuenta con una relevante experiencia en el ámbito de las energías renovables y con un especializado portfolio de capacidades de formación y capacitación para el desarrollo de competencias profesionales. SODEPAZ tiene una larga experiencia de cooperación en Cuba de la que podemos destacar los programas de Solarización de Guama y los relativos a la biomasa del marabú por su aplicabilidad en esta propuesta. CUBASOLAR en su condición de socio local de la intervención, coopera activamente en todo el proyecto, favoreciendo además la articulación de las acciones con los distintos organismos e instituciones cubanas públicas y privadas y otros actores sociales, y aportando la asesoría técnica y especializada local para el desarrollo de la solución innovadora.

Además de estos actores, el desarrollo de las acciones realizadas tanto en Cuba como en España ha contado con una amplia y activa participación tanto de la población local como de técnicos, especialistas, docentes e investigadores de múltiples empresas y entidades cubanas (ministerios, universidades, empresas energéticas, entes locales y un largo etcétera).

Los principales resultados alcanzados en este proyecto están vinculados a la caracterización de los diferentes escenarios de aplicación del sistema, basada en los recursos energéticos y en la tipología de demanda; la determinación de los tipos de biomasa más adecuados proporcionando las principales cinéticas, así como las condiciones de operación más adecuadas para llevar a cabo su aprovechamiento energético; la propuesta de nuevos procesos para llevar a cabo el tratamiento y la limpieza del gas de gasificación; la simulación de los procesos de gasificación y generación solar fotovoltaica, en función de las condiciones de operación y de la disponibilidad y del tipo de recursos; el análisis de la viabilidad técnico económica del sistema demostrador y la aplicación a otros escenarios que requieran demandas de potencia diferentes. Estos resultados son los que permitirán, en un futuro próximo, implementar un sistema híbrido biomasa-solar aprovechando la instalación existente de un gasificador en la localidad de La Veguera (Camagüey).

Además de estos resultados de carácter marcadamente tecnológico, podemos considerar que se ha propiciado la cooperación entre distintos equipos investigadores, lo que ha supuesto un impulso en la I+D+I de cada grupo. Además, se ha conseguido establecer y sostener un marco de intercambio y de soluciones de interés para el sector privado y gubernamental, llegando incluso a crear capacidades para formular programas de desarrollo energético a largo plazo. Por tanto, ha habido un importante trabajo y espacio para la formación, la investigación y especialmente la transferencia tecnológica.

El trabajo realizado responde a un modelo cuya principal meta es favorecer el desarrollo de competencias genéricas y específicas para la replicación del sistema híbrido en el conjunto de la República de Cuba, y más concretamente en sus áreas rurales; por lo que se pretende que tenga una repercusión a corto y medio plazo. Por otra parte, tanto los resultados como los productos derivados del estudio podrán resultar de utilidad a otras áreas que deseen implantar modelos similares al testeado mediante la puesta en marcha de este proyecto. Así mismo, se considera que los objetivos de aprendizaje diseñados en el marco de este proyecto podrán tomarse como base también en el diseño de experiencias y estrategias en otras materias de estudio relacionadas con

el desarrollo sostenible y del medio rural, por lo que el espectro de potenciales usuarios de los resultados contemplados es amplio.

En este último sentido, es muy destacable el papel que han jugado las acciones formativas a lo largo del desarrollo de este proyecto. Este tema es objeto de un capítulo específico al final de este libro.

Es destacable igualmente la intensa red que se ha tejido entre estos agentes dando lugar a la firma de varios convenios de colaboración y a la creación de un grupo específico: Red de Bioenergía GUAMÁ². Igualmente, el proyecto sostiene una página web³ dedicada alojada en los servidores del CIEMAT y un servicio de mapas sobre las opciones de electrificación en Guamá⁴ (Figura 1.1).

1.3 Acciones futuras

La experiencia alcanzada dentro de este proyecto ha fortalecido, tal y como indicábamos, tanto las capacidades de los grupos participantes como la red de contactos y puntos comunes entre los participantes cubanos y entre estos y los socios españoles.

Esas sinergias y conocimientos generados en el desarrollo del proyecto HYBRIDUS, serán la base de una nueva propuesta HIBRI2 centrada en el desarrollo de una solución integral e innovadora para la comunidad de La Veguera.

Esta nueva solución pasa por la puesta en marcha efectiva del gasificador allí instalado, abordando la problemática de su abastecimiento y mantenimiento, así como la de su adecuación a la demanda y sus posibilidades para nuevos usos.

² <https://www.facebook.com/red.bioenergia.guama/> Acceso 28/09/17

³ <http://projects.ciemat.es/web/hybridus/> Acceso 28/09/17

⁴ <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=1be938c872044baaaeb40feaa9ea9853> Acceso 28/09/17

La hibridación de este sistema con una cadena de módulos fotovoltaicos, que actuarían como primer recurso eléctrico, el aprovechamiento de estos módulos para el bombeo y canalización del agua, dotando a la comunidad de un nuevo servicio básico para el desarrollo de sus actividades personales y productivas, la implementación de sendos sistemas para el almacenamiento de la electricidad y del gas, y la posibilidad de utilizar este recurso para el cocimiento de alimentos y otros usos térmicos, supone, junto a un enfoque integrado de sostenibilidad ambiental, social y económica y de replicabilidad geográfica, la progresión de este enfoque integral centrado en las necesidades finales de la población y en la consecución de un medio ambiente sostenible.

Esperamos poder iniciar los trabajos de este nuevo proyecto en breve y que el mismo contribuya tanto al desarrollo de las capacidades locales como a las mejoras en la calidad de vida y ambientales expresadas anteriormente.

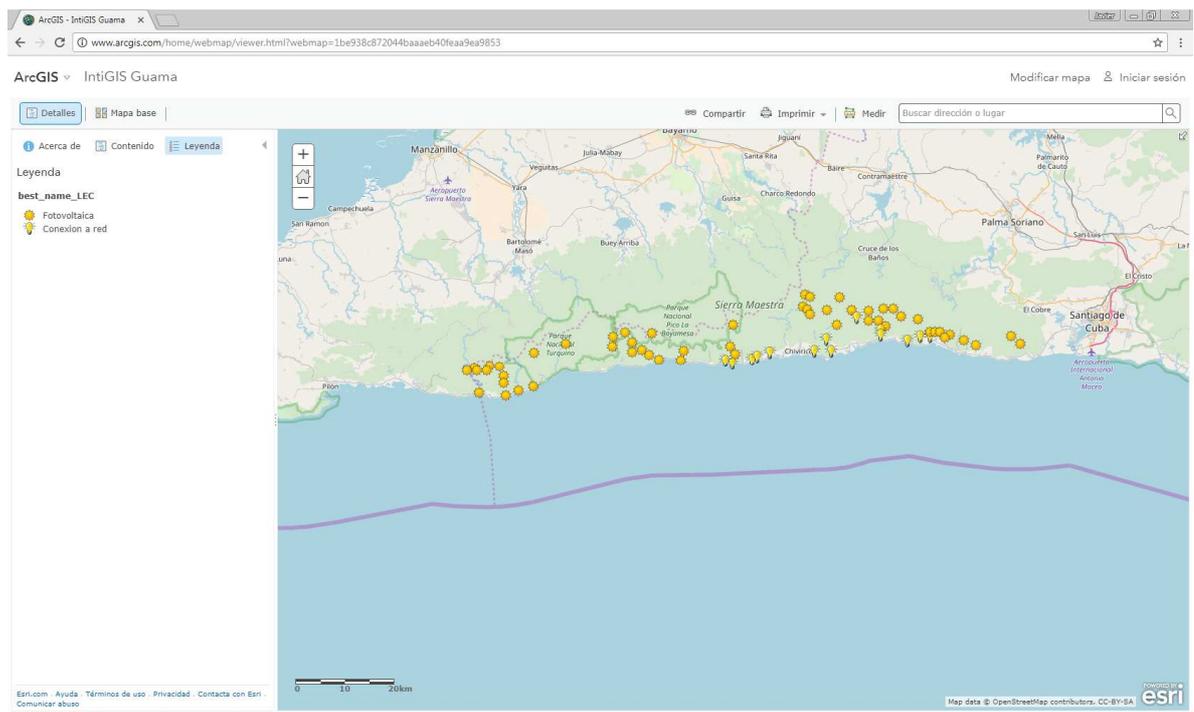


Figura 1.1. Servicio de mapas con los resultados de la aplicación de IntiGIS en Guamá (gTIGER, 2016)

Capítulo 2. El papel de la sociedad civil en el desarrollo de las energías renovables desde la perspectiva de la cooperación internacional (Federica Carraro y Sergio Escriche)⁵

Recorrido histórico de nuestra apuesta por las energías renovables en Cuba.

En la década de los 90 del pasado siglo, Cuba afronta su peor crisis económica, por el cambio de las Relaciones Internacionales simbolizada por la caída del Muro de Berlín, donde pierde su inclusión en el COMECON y tiene que salir a un mercado internacional hostil y desconocido. La escasez de petróleo hace que la Comisión Nacional de Energía de Cuba (CNE), empiece a centrar su estrategia de producción en las energías renovables. Por tanto es la necesidad extrema la que lleva el gobierno cubano a orientarse en este sentido.

El sistema educativo cubano, que ofrece a sus estudiantes de todos los niveles las dos/tres comidas diarias, es el primer demandante de soluciones. Las cocinas de los comedores escolares en las zonas rurales, empezaron a utilizar la madera como combustible, usando los bosques cercanos a las instalaciones, con la consiguiente deforestación. Las condiciones de trabajo de “las cocineras” empeoraron sustancialmente, ya que los fogones alimentados con leña, necesitan de mucho tiempo para que sean eficiente la cocción. El horario de trabajo empezaba a las 5 de la mañana y los humos producidos por las improvisadas cocinas de leña, produjeron enfermedades respiratorias y oftalmológicas.

La alarma de parte del Ministerio de Educación no se centraba solo en las dificultades energéticas si no también por la escasez de alimentos, que también dependían de las importaciones ventajosas del COMECON.

SODEPAZ en esa época, en torno al año 1992, con ocasión del primer encuentro de Cooperación Internacional que se celebró en La Habana, donde por primera vez ONG’s internacionales se reúnen con ONG’s cubanas para contribuir a aliviar algunos de los problemas más agudos del momento, entra en contacto con la desaparecida CNE. Parte de sus técnicos darían vida en 1994 a la ONG cubana CUBASOLAR, nuestra contraparte hasta el día de hoy.

⁵ SODEPAZ

Las primeras propuestas se orientaron a dos tipos de soluciones:

- a) Digestores para la producción de Biogás
- b) Energía fotovoltaica.

El primero fue un programa de muy larga duración, casi 6 años, la contraparte fue el Ministerio de Educación Cubano, que previó la instalación de digestores en las áreas de las centrales azucareras donde coincidían Centro de Formación profesional para técnicos azucareros, y los comedores de los empleados de la Central así como la población estudiantil, docente y personal de servicio. Estos digestores se alimentaban de los restos de la caña, que a través del proceso anaeróbico, produce gas que canalizado alimentaba a las cocinas.

En las 14 provincias existían condiciones similares por lo que, con la colaboración de los gobiernos provinciales, se construyeron, con diferentes tecnologías, 14 bio-digestores. La población directamente beneficiada fue la población estudiantil como los empleados en el sector de la producción azucarera.

La energía fotovoltaica. La instalación de paneles solares fue otro programa que sigue en funcionamiento en la actualidad. Nuestra contraparte ya fue CUBASOLAR. Empezamos con la electrificación de los consultorios médicos en zonas de montaña, aislados. Si bien el Sistema Eléctrico Nacional de Cuba, ofrece cobertura a más del 96% de la población, las zonas aisladas de montaña son las que no reciben este servicio y a las cuales había que atender a través de esta tecnología.

Frenar la emigración del campo a la ciudad dotando el campo de los servicios básicos, fue y sigue siendo una prioridad para el gobierno cubano.

Los centros de salud, que solían albergar también las viviendas de médico y enfermero, fueron los primeros que se empezaron a equipar de paneles, suficientes para abastecer de energía eléctrica bombillas para la iluminación, aparatos de diagnóstico, frigorífico para las vacunas y una radio para las emergencias sanitarias y las inter-consultas.

Cinco años más tarde, una vez electrificados más de 100 consultorios, se procedió a realizar una evaluación en conjunto con CUBASOLAR, que arrojó datos extraordinarios sobre el impacto no solo en los índices de salud de la población rural, por las mejores condiciones de

trabajo del personal sanitarios y mejores capacidades diagnósticas y asistenciales, sino porque la población rural aumentó su socialización y su cohesión⁶.

Este programa se extendió a otros tipos de servicios como los círculos sociales, dotándoles de equipamiento para la proyección de vídeos, que permitía el encuentro de los pobladores para la visión de documentales y películas, y en su última fase se empezó con la electrificación de las viviendas individuales de los propios campesinos, con capacidad suficiente para instalar una televisión, con vídeo, y bombillas para la iluminación.

Se experimentaron también proyectos donde la instalación fotovoltaica fuese comunitaria, es decir se instalaron paneles para un conjunto de viviendas e instalaciones próximas. En este caso, este tipo de soluciones es la menos frecuente ya que las zonas identificadas son zonas montañosas caracterizadas por la dispersión y alejamiento de los asentamientos humanos.

A partir del año 2005 se inicia una nueva etapa del trabajo con CUBASOLAR en colaboración con CATEDES en Guantánamo, abriendo nuevos desarrollos con las energías renovables, en este caso para impulsar el abastecimiento de agua a comunidades sin acceso afectadas por la sequía, tanto para el consumo humano y animal como para riego.

Otras experiencias de aplicación de las energías renovables se realizaron en proyectos de tratamiento de los "residuos" de una despulpadora de café, con la construcción de una planta piloto de tratamiento y producción de biogas en la comunidad El Limoncito en Guantánamo. Instalación y reparación y reparación de diversas mini hidroeléctricas, hasta un total de ocho, fundamentalmente en Sierra Maestra y energización solar del municipio de Guama, Santiago de Cuba, programa que a día de hoy sigue desarrollándose con nuevas iniciativas y propuestas.

⁶ Evaluación del programa de electrificación fotovoltaica: a casas consultorios del médico y enfermero de la familia en zonas montañosas rurales de difícil acceso en la República de Cuba. Trabajo presentado en: - "Seminario de electrificación rural", organizado por el Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid entre los días 18 y 29 de octubre de 1999. - "VII Seminario Internacional de Atención Primaria" Salud para todos en el año 2000. La Habana 18-22 de octubre 1999. - Seminario "Salud y Desarrollo sostenible" La Habana 18-22 de octubre de 1999.

Nuestro aprendizaje en la Cooperación Internacional, nos ha llevado no solo a facilitar el intercambio sur-sur entre nuestras contrapartes para introducir, de la mano de CUBASOLAR, estas tecnologías aplicadas a iniciativas de soberanía y seguridad alimentaria, si no a organizar unas jornadas internacionales “Renovando la Cooperación: Jornadas Formativas Internacionales de Cooperación al Desarrollo y Energías Renovables” en junio de 2010 en Navarra.

Con el apoyo inestimable del CENIFER⁷, se fortaleció este intercambio para las organizaciones del sur participantes promocionando la replicabilidad de los proyectos más efectivos de cada zona, así como fraguando propuestas de colaboración profesional entre los distintos países participantes.

A destacar que en Cuba en estos años, se pasó de una política energética de urgencia donde las energías renovables ocupaban un lugar subsidiario temporal, a una política energética donde las renovables son fuentes viables, sustitutorias y definitivas.

En estos años los defensores de las renovables, fueron minoritarios aunque hoy con la aprobación de los nuevos lineamientos en mayo de 2011, - cuyo n. 247. plantea *Potenciar el aprovechamiento de las distintas fuentes renovables de energía, fundamentalmente la utilización del biogás, la energía eólica, hidráulica, biomasa, solar y otras; priorizando aquellas que tengan el mayor efecto económico* -, se indica que han tomado un relieve prometedor.

En ese mismo año y, diversificando nuestro trabajo en materia de EERR, afrontamos uno de los mayores retos de nuestra organización, mediante el desarrollo del programa “Aprovechamiento de la biomasa de marabú y otras especies energéticas, como combustible en la generación de electricidad y recuperación ambiental en Camagüey” financiado por la Comisión Europea para cinco años. Ejecutado en consorcio con la ONG cubana ACTAF, la iniciativa ha contado con la mayor atención de las autoridades cubanas e internacionales debido a su complejidad, innovación y altísima pertinencia.

En el año 2015 SODEPAZ firma un acuerdo marco con el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), institución pública española de

⁷ CENIFER Centro de Referencia Nacional en Energías Renovables y Eficiencia Energética (Navarra, España).
www.cenifer.com

referencia tanto a nivel nacional como internacional en materia de EERR. En pocos meses dicho acuerdo da su primer fruto con la aprobación por parte de la AECID del primer proyecto consorciado “Hybridus: cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la isla de Cuba”, en fase de terminación. En el que la capacitación a científicos y expertos cubanos en las diferentes tecnologías en EERR, ha sido uno de los ejes fundamentales.

Hoy en día seguimos difundiendo las energías renovables para todos los proyectos de cooperación y también su aplicabilidad a iniciativas de soberanía alimentaria en nuestro propio país, según estas estrategias.

Antes de pasar al siguiente apartado cabe destacar y desglosar nuestro trabajo en el municipio Guamó por ser el foco de nuestra cooperación desde hace ya casi diez años.

Guamá, en la provincia Santiago de Cuba, es uno de los territorios de máxima prioridad por la importancia de sus recursos naturales. Fue el primero de Cuba en utilizar para su desarrollo la energía fotovoltaica a finales de los años ochenta del pasado siglo, debido al carácter montañoso y aislado de su territorio que imposibilitaba la llegada del SEN (Sistema Electro-energético) y mantenía a mucha población sin acceso a ninguna fuente de energía, imposibilitando el desarrollo de las comunidades. Es por ello que tanto la población como los poderes locales cuentan con cierto conocimiento y concienciación en materia energética.

La energía solar fotovoltaica, principal energía renovable empleada en Cuba, tuvo, una vez iniciada su precoz andadura en el municipio, unos años de complejo desarrollo. A lo largo de la década de los 90, se dieron experiencias exitosas debido al gran esfuerzo del gobierno cubano para hacer llegar la energía a todos los rincones del país, pero los procesos de capacitación, de sensibilización y de transferencia tecnológica requieren de tiempo y esfuerzo, por lo que, como es lógico y, pasó en tantos otros lugares, hubo complicaciones de cara a la sostenibilidad de la tecnología.

Bien entrado el nuevo siglo, mejorada la asimilación y el aprendizaje y como producto del abaratamiento de la tecnología, se produjo un periodo de afianzamiento de las energías renovables tanto en el país como en el municipio. SODEPAZ que ya llevaba años trabajando en la provincia y la ciudad de Santiago de Cuba, inicia en 2008 junto con Cubasolar, el diagnóstico y la identificación de lo que será un programa energético para el municipio que tuvo desde 2009

al 2016 dos grandes líneas de actuación: las tres fases del proyecto “Solarización del Municipio de Guamá. Desarrollo socio-económico, tecnológico y ambiental para el municipio de Guama” ejecutadas por SODEPAZ y Cubasolar, y el “Programa de Sostenibilidad Ambiental en el Oriente Cubano” bilateral entre Cubasolar y AECID.

Todas estas intervenciones, aunque contaban con diversas acciones para dotarlas de integralidad, a nivel tecnológico se centraban en un alto porcentaje en la puesta en marcha de aplicaciones solares fotovoltaicas, en sus distintas versiones: sistemas centralizados, dotación de centros sociales, electrificación rural fotovoltaica aislada, bombeo fotovoltaico...

Finalizando la fase final del tercer y último proyecto de “Solarización Guamá”, SODEPAZ, establece una alianza estratégica con CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), con la intención de darle un mayor contenido técnico-científico al trabajo histórico de SODEPAZ en Cuba. Concurrimos en la convocatoria 2015 de AECID- innovación con el proyecto “Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la isla de Cuba”, dicho proyecto se aprobó y en la actualidad está a escasos meses de finalización.

Este es un proyecto de investigación y capacitación, se tomó como polígono demostrativo el municipio de Guama, debido a la experiencia de SODEPAZ en el terreno, se llevaron a cabo dos talleres en las instalaciones del Centro Multifuncional del municipio, espacio rehabilitado por SODEPAZ durante las tres fases del proyecto “Solarización de Guamá”, donde se teorizó sobre los sistemas híbridos de cogeneración, una de las grandes líneas de actuación en materia energética y novedosa para Cuba. Más allá del potencial fotovoltaico ya conocido y trabajado en años anteriores, se analizó las potencialidades del recurso biomásico del municipio de cara a conjugarlo con el fotovoltaico en busca de mayor impacto y eficiencia. Esta nueva línea de trabajo nos permite seguir trabajando en el territorio aprovechando el conocimiento del mismo y de sus actores locales.

ESTRATEGIA, OBJETIVOS Y PRIORIDADES

Enfoque de la estrategia

Trabajamos en adecuación con la estrategia del gobierno cubano y que se ha plasmado en diversos documentos como son las estrategias del PDHL del PNUD (<http://www.undp.org.cu>), el documento la Asociación Estratégica UE AMLAT Caribe Compromiso Común 2008, la VIII

Comisión Mixta Hispano Cubana de Cooperación, firmada en 2007; la Estrategia Vasca para la Cooperación al desarrollo con Cuba y que se han ratificado en las sucesivas reuniones y encuentros realizadas con las ONG españolas.

Los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, documento clave que marca las pautas básicas y las líneas de actuación para el futuro desarrollo del país. El lineamiento 113, el único que habla de la Cooperación que recibe Cuba, dice: “Priorizar, en las relaciones con las organizaciones de colaboración internacional, el apoyo material y tecnológico en el desarrollo de objetivos para el aprovechamiento de las diversas fuentes de energía renovable”.

A continuación detallamos las pautas de nuestras estrategias:

a) **Geográficamente:** priorizar la zona oriental de la isla, Holguín, Santiago de Cuba, Granma, Las Tunas y Guantánamo, así como la provincia central de Camagüey, con especial atención a las zonas montañosas y/o aisladas de dichas provincias. Común en estos territorios es la sequía en diferentes intensidades y los fenómenos naturales catastróficos (huracanes, etc.). Son las provincias con los índices de desarrollo humano menor y con más carencias. La Habana es otro territorio priorizado debido a ser el mayor núcleo de población de la isla.

b) **Sectorialmente:** Energías Renovables, Soberanía Alimentaria, Agua, Reorganización Azucarera, Educación y Salud, son temas prioritarios ordenados de mayor a menor importancia.

c) **Perspectiva de género** en lo referente a plantear estrategias y políticas en pro de la equidad de género en la realidad cubana.

Prioridades sectoriales propuestas.

SODEPAZ trabajará en la promoción de una cultura ambiental y energética sostenible a través de la promoción y **desarrollo de las energías renovables**, la formación en materia de medio ambiente de la población cubana, acciones de reforestación y lucha contra la desertificación en el marco del desarrollo local, así como a través de la recuperación de parajes a través del Turismo Responsable.

Realizamos también acciones encaminadas a la promoción de la **soberanía alimentaria** a través de proyectos para el desarrollo de la agricultura ecológica, con el fomento de la

producción de alimentos en las zonas de montaña, la agricultura urbana, el acceso al agua y el apoyo a las acciones de fortalecimiento productivo de las entidades afectadas por la remodelación productiva de la producción de caña de azúcar y del café. En todos los casos se contemplará la incorporación de las energías renovables para generar una autonomía suficiente en concordancia con la soberanía alimentaria.

Se potenciará la comercialización de productos cubanos en el área de **comercio justo y solidario**, dentro de la participación de SODEPAZ en la red Espacio por un Comercio Justo que agrupa a más de 30 entidades de la Península Ibérica, iniciativa iniciada con la importación de Azúcar de Caña ecológico en 2013.

Otro aspecto a destacar es el fomento de la **colaboración sur-sur** llegando a ser facilitadora de las relaciones entre organizaciones locales de diferentes países para poner en común conocimientos y prácticas de desarrollo, como la iniciada con Haití desde 2015.

En segundo plano, se ofrece apoyo técnico para el desarrollo de las instituciones culturales, centros de estudio y universidades con los que se viene trabajando para adecuarlos a las líneas estratégicas del área de trabajo de SODEPAZ definida como **Área de Saberes**, entre estos se encuadran las siguientes, los estudios y publicaciones en el sector de la cooperación, el consumo responsables y la cooperación al desarrollo, la creación de capacidades en la edición de materiales videográficos dentro de las estrategias de SODEPAZ.tv y emakumeak.tv. La colaboración y apoyo con revistas especializadas en energías renovables como “Energía y Tú” a cargo de CUBASOLAR, es otra de las líneas de trabajo permanentes de la organización.

La estrategia para la promoción de la igualdad entre mujeres y hombres está condicionada por una serie de premisas que es necesario tomar en consideración:

1. La mayoría de las contrapartes no han tenido entre sus prioridades la equidad de género, porque en su objeto social no está recogido y porque en el país la organización especializada en el tema es la Federación de Mujeres Cubanas (FMC).

2. Las acciones que se han podido desarrollar, no tanto en materia de equidad de género (Género en el Desarrollo), sino con mujeres (Mujeres en el Desarrollo) han sido ejecutadas en coordinación con la FMC y se han centrado en impartir cursos y en el apoyo a convocatorias dirigidas a las comunidades, vehiculizadas a través de la Federación.

3. Además, el tipo de proyectos ejecutados, dirigidos básicamente a la cobertura de las necesidades sociales básicas en su sentido más material, no han enfrentado los impactos de género porque no los han contemplado como principales, sino como consecuencias secundarias, derivadas de las carencias o déficits de desarrollo y no como causales de ellos.

Por tanto, tomando en cuenta las premisas anteriores y atendiendo a las características de nuestro trabajo y evidenciando la voluntad de nuestras contrapartes por imprimir un carácter más integral a sus intervenciones, nuestra estrategia de género contempla:

1. Formación para el personal de las contrapartes e instituciones vinculadas a los proyectos en materia de género, de manera que se cuente con los conocimientos básicos en la materia.

2. Coordinación con la FMC de los municipios donde se actúa en proyectos de envergadura, para dotarla de los medios básicos necesarios para que intensifique su trabajo en el territorio (transporte, materiales de oficina y disponibilidad de los locales del proyecto), especialmente en la línea de formación y liderazgo de mujeres y sensibilización con la población en general, especialmente con los hombres.

3. Para mejorar los resultados se incluyen medidas de acción positiva en cada uno de los proyectos, de manera que se asegure que las mujeres accedan a los beneficios de los mismos y estén representadas en él.

4. Especialmente importante es el trabajo relacionado con la cualificación para el empleo en nuevos sectores productivos que se desarrollan como son la agricultura ecológica y las nuevas tecnologías.

5. Las acciones de desarrollo pretenden articular la promoción de una mayor representación de las mujeres en los espacios sociales y políticos, especialmente aquellos encargados de la gestión del desarrollo local.

- Organización y participación comunitaria.

SODEPAZ trabaja en todos los países sin una oficina propia y todos los trabajos que se realizan se hacen con organizaciones locales, por lo cual es fundamental para conseguir los

objetivos que se proponen que las organizaciones locales sean capaces de ejecutar las actividades o que se fortalezcan como objetivo específico de la actuación.

Se pretende favorecer los acuerdos y el trabajo conjunto de las ONG y entidades cubanas que actúan en la cooperación al desarrollo, incorporando a los proyectos estrategias que hasta la fecha eran paralelas. En este sentido se incluirán las acciones de energías renovables como transversal en los proyectos de soberanía alimentaria e infraestructuras, lo que implica la incorporación a las acciones las ONG especialistas.

Fortalecer el trabajo conjunto de las ONG europeas, para lo cual se fortalecerá la Red Solidaria de cooperación con Cuba, creada hace tiempo pero en situación de gran debilidad.

Como continuación de nuestro trabajo, se continuará potenciando el trabajo con otras entidades (organismos de masas, poderes populares, universidades,...) para la participación en los proyectos y en la definición de Estrategias, Programas o Planes locales y provinciales relacionados con el Desarrollo Sostenible.

- La protección medioambiental.

La mayoría de los proyectos que viene realizando SODEPAZ en Cuba están relacionados con la gestión sostenible del medio ambiente como son la agricultura ecológica y la introducción de las energías renovables.

Especial importancia en este sentido tiene el hecho de ser miembros fundadores, como institución, de la ONG cubana CUABASOLAR, ONG referente del CITMA (Mº del Medio Ambiente) y nuestra alianza estratégica con el Plan Turquino, uno de los mecanismos cubanos para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente en las zonas de montaña o en las reservas nacionales como es la Ciénaga de Zapata.

Una parte del trabajo (“Proyecto Solarización de Guama”) son las acciones encaminadas a garantizar el fortalecimiento institucional en materia de gestión del medio ambiente como elemento de planificación de políticas públicas tendentes a la protección del medio ambiente y/o a la integración del mismo en otros ámbitos sectoriales.

Capítulo 3. El desarrollo en Cuba de las Fuentes Renovables de Energía (Dr. Ing. Luis Bérriez Pérez y Msc. Alois Arencibia Aruca).⁸

La transformación parcial o radical del modelo energético de un país no es un proceso simple, requiere de investigación y desarrollo de múltiples soluciones innovadoras que den respuesta a necesidades generadas por el modelo anterior y la transformación, en parte, de la vieja cultura a partir de la aceptación de las nuevas ideas que fundamentan el cambio y que enamoren a las personas y generen nuevas necesidades como mecanismo que impulse y afiance lo cambiado.

Esta complejidad se debe a lo enraizado que está en la cultura actual el consumo de energías exógenas, pues el ser humano se ha rodeado de una naturaleza artificial donde desarrolla su vida una gran parte de la población mundial, por lo que la energía interesa a todas las esferas de la vida humana y es un tema estratégico para gobiernos y empresariado mundial disponer de un abastecimiento energético seguro y con “calidad” lo que requiere de un complejo entramado socio técnico, geopolítico y financiero que afecta desde las regiones y los estados, hasta la más humilde vivienda y tiene impacto directo en la cultura –centro de la vida del ser humano- condicionándola y modificándola según el acceso a la energía, así también, transformando la producción de bienes tangibles e intangibles, las relaciones económicas, el medio ambiente y la institucionalidad y las relaciones interinstitucionales.

El modelo energético dominante en el mundo y por supuesto en Cuba, por más de medio siglo, es el modelo energético de la “Modernidad”⁹, que es una concepción de desarrollo humano

⁸ CUBASOLAR.

⁹ El pensamiento que acompañó a la Modernidad como modelo de desarrollo, no tenía en cuenta que la dotación de recursos del planeta es limitada y se propuso la creación de grandes urbanizaciones donde la población pudiera recibir los servicios de electricidad, agua, transporte, salud, educación, cultura y alimentación, entre otros. A partir de un modelo de gestión intensiva de recursos naturales para lograr la electrificación e industrialización a gran escala, una abundante producción de alimentos y una minería extractivista y depredadora.

que tomó un gran auge a partir del siglo XIX y energéticamente está basado en el consumo de combustibles fósiles y nuclear. La Modernidad y su energética ha venido dominado paulatinamente el espectro económico y sociocultural del planeta a partir de la Primera Guerra Mundial y se convirtió en el modelo hegemónico después de la Segunda Guerra Mundial, promovió –y algunas veces impuesto por la fuerza- por la entonces recién creada Organización de Naciones Unidas y sus agencias bajo la idea de que la Modernidad como modelo de desarrollo garantizaba la paz entre los países.

Los combustibles fósiles y nuclear no están dispersos por cualquier parte del planeta, se encuentran en minas y su extracción, puesta a punto para su uso y distribución en el mercado, ya sea como combustible o como electricidad, depende de una gran intensidad tecnológica que se concentra en complejos entramados corporativos que conforman una poderosa industria energética mundial, la cual ha generado una concentración de poder alrededor de estos recursos que son vitales para dar respuesta a las necesidades de los “consumidores”, desarrolladas esencialmente en el marco de la Modernidad, lo que conlleva a la centralización en la toma de decisiones por estas grandes empresas corporativas “los productores de energía” y por los gobiernos como recurso estratégico de gran valor para el desarrollo de los países.

Sin embargo las fuentes renovables de energía en primer lugar el Sol, luego el viento, las corrientes marinas y fluviales, las biomasas, etc., están distribuidos por todos los rincones del planeta de forma abundantes y gratuita y pueden ser utilizadas con eficiencia y racionalidad a

Complementando estas ideas se desarrolló una infraestructura global para conectar y trasladar recursos por todo el planeta a través de redes eléctricas, de comunicación de radio y televisión, -luego llegó internet- carreteras, redes ferroviarias, grandes puertos y aeropuertos de manera que la comunicación y el comercio se desarrolló por aire mar y tierra.

Este modelo se hizo hegemónico a finales de la primera mitad del siglo XX y ya en los años 70, del propia siglo XX, se declaró agotado a partir de los daños que ocasionó al medioambiente, sin embargo, no ha sido sustituido por un modelo que disminuya estos daños, por el contrario, se siguen profundizando, siendo el causante del calentamiento global acelerado por la emisión de gases de efecto invernadero, generado por las emisiones de la producción industrial intensiva de este modelo de desarrollo humano, siendo la causa principal del cambio climático y el impacto global más relevante es el aumento de los eventos meteorológicos y climáticos de gran magnitud que amenaza de la vida en todas las especies del planeta incluyendo la humana.

partir de soluciones tecnológicas más sencillas y versátiles que promueven un nuevo agente económico el *prosumer*, donde el productor y el consumidor puede ser la misma persona, lo que permite la gestión de estos recursos en cualquier escala del desarrollo – en la local, nacional, regional o global si fuera necesario-, este es un novedoso escenario para el que la cultura debe prepararse, desarrollar conocimientos y habilidades en las personas, soluciones técnicas, capacidad de gestión, etc., para desarrollar esta nueva forma de gestión energética que es ambientalmente más sostenible y económica, política e institucionalmente más baratas y democráticas y aportan un marco más sólido a la soberanía de los países dependientes y de libertades a las comunidades e individuo en la toma de decisión a la hora de buscar un medio que permita el sustento y desarrollo de la vida, contrario a lo que está generando el modelo energético convencional.

En la actualidad el mundo realiza ingentes esfuerzos en el campo de la investigación y la innovación tecnológica para propiciar un uso mayor de las FRE, los resultados más visibles están en la transformación de los sistemas de generación y distribución de electricidad en sistemas híbridos, hoy las redes eléctricas de muchos países son alimentadas con centrales termo eléctricas que utilizan los combustibles convencionales y otras que utilizan las FRE, - bioeléctricas, hidroeléctricas y parques eólicos y fotovoltaicos-, estos híbridos alcanzan el transporte y la industria y también se desarrollan soluciones para las pequeñas escalas, a partir de micro-redes inteligentes para energizar las comunidades, las pequeñas industrias, etc.

El trabajo que se presenta tiene como objetivo exponer el largo camino que se ha venido desarrollando en Cuba en el campo de la investigación, la formación de personal y el desarrollo de experiencias demostrativas para promover el uso de las FRE y se divide en dos partes: lo que se avanzó hasta el año 1994, en que se funda la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, (CUBASOLAR) y lo que se avanzó en esta segunda etapa, en el trabajo se actualiza las acciones desarrolladas por el Estado Cubano desde el 2011, cuando se presentan la primera versión de los Lineamientos de la Política Económica y Social en el que ya se hace oficial como línea de gobierno el desarrollo de las FRE en Cuba y las acciones que se desencadenaron a continuación culminado con la actualización de las proyecciones del desarrollo de las FRE en Cuba hasta el 2030

Este trabajo es un marco referencial que aporta antecedentes para entender la importancia del proyecto HYBRIDUS I, “Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema

híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la Isla de Cuba”, desarrollado entre 2016 y 2017 con financiamiento de la AECID y ejecutado por CIEMAT y SODEPAZ, teniendo como coordinador en Cuba a CUBASOLAR.

Este proyecto desarrolló un esquema de capacitación a especialistas cubanos en un conjunto de temáticas claves para proyectar un sistema de generación de energía, híbrido biomasa-solar, en una comunidad de la región oriental de Cuba, el cual se debe ejecutar si se aprueba HIBRI2. Este no será el primer sistema híbrido que se desarrolle en Cuba, pero el proyecto ha aportado una visión muy completa del proceso de gestión para esta pequeña escala, desde el agro hasta la generación, lo que hace sinergia con un acumulado cultural que el tema de la FRE y desarrollo local que ya existe en Cuba para asumir este proceso desde una perspectiva de gestión –diagnóstico, proyección, planificación, ejecución y control- que se inserte en los procesos de gestión empresariales y gubernamentales dentro del espacio local, como se debe y se puede a partir de las bondades de estas tecnologías.

I. Algunos aspectos relacionados con el contexto histórico antes de la creación de CUBASOLAR el 19 de noviembre de 1994

Al triunfo de la Revolución, la electricidad llegaba apenas a 56% de la población. La mayor parte de los campos de Cuba y más aún, las montañas, la desconocían.

Desde su comienzo, la Revolución define el desarrollo científico y tecnológico del país. Se desarrolla exitosamente la Campaña Nacional de Alfabetización que, a pesar de la invasión mercenaria por Playa Girón, alfabetiza los iletrados de nuestro país en un solo año (1961). Se modifican, modernizan y perfeccionan los planes de estudio en las universidades. Se empiezan a formar profesionales capaces de llevar adelante el desarrollo que requería la sociedad.

La década de los 60's y principios de los 70's se caracteriza principalmente por la formación de especialistas energéticos en las universidades de La Habana, Oriente y Las Villas. En 1968 se imparte en la Facultad de Física de la Universidad de La Habana el primer curso de dispositivos fotovoltaicos y en 1975, en el Laboratorio de Física de los Dispositivos Semiconductores, se fabricó la primera celda solar fotovoltaica en Cuba de silicio cristalino.

Desde esa época, se realizan experimentos con superficies de absorción y captadores solares, se procesan y caracterizan celdas solares, se introducen los temas ambientales y de

diseño bioclimático para el uso pasivo de la energía solar, y se empiezan a desarrollar trabajos encaminados al mejoramiento de la eficiencia en los hornos y calderas de los centrales azucareros, así como en el quemado del bagazo.

Al mismo tiempo, en 1970 se interconecta el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) a 110 kV, toda la población urbana del país accedía a la electricidad; durante el decenio 70-80 el SEN se interconectó a 220 kV, que es la situación actual.

En 1975, la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) crea, en el seno del Instituto de Investigación Técnica Fundamental (ININTEF), el Grupo de Energía Solar. Este grupo, que se convierte en departamento al año siguiente, fue el primer grupo de investigaciones del país dedicado exclusivamente al desarrollo de las fuentes renovables.

En cumplimiento de las directivas del Primer Congreso del Partido Comunista de Cuba, a partir de 1976 se inicia el primer Programa Principal Estatal Investigaciones sobre el Aprovechamiento de la Energía Solar en Cuba, bajo la dirección del Grupo de Energía Solar. Como resultados de este programa, se desarrollan los primeros calentadores solares cubanos incluyendo el tipo compacto, ideal para el clima tropical, así como secadores solares, destiladores, potabilizadores de agua de mar, concentradores y tecnologías para el uso de la energía solar en el cultivo de microalgas. Se concluyen estudios sobre las diferentes fuentes renovables, en las que se demuestran las posibilidades y necesidades de uso de cada una, y entre ellas, principalmente, la eólica, la fotovoltaica y la solar térmica.

A finales de los años 70's se crea un grupo de trabajo para el ahorro de energía, subordinado al Ministerio de la Industria Básica, y posteriormente, por orientación de la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Ministros, se amplía este equipo convirtiéndose en el Grupo Técnico Asesor de Energía que tenía entre sus tareas el desarrollo del uso de las fuentes renovables de energía (FRE), y elaboró en noviembre de 1981 el Informe de Cogeneración, con el diagnóstico y las perspectivas para su aprovechamiento en la Agroindustria Azucarera y otros organismos; también en 1981 se inicia el Programa de Energía Solar del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) y Cuba es representado por la ACC. En 1982 se realiza, apoyado por el CAME, la primera instalación fotovoltaica de 1 kW con celdas de silicio monocristalino que, con fines prácticos, abastecía totalmente a una vivienda.

Merece destacarse la obtención de la primera celda solar de silicio en nuestro país en los 70's, y a principios de los 80's el desarrollo de una instalación fotovoltaica basada en celdas de arseniuro de galio, resultados ambos de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana. También, el inicio de la fabricación de calentadores solares en SEGERE en coordinación con el Instituto de Refrigeración y Climatización.

En 1983 se crea el Grupo de Física Ambiental del Ministerio de la Construcción, cuya principal función fue promocionar la cultura por el uso de la energía solar pasiva, la arquitectura bioclimática, así como la confección de normas que conlleven al uso eficiente de la energía en edificaciones.

También en 1983 el país crea la Comisión Nacional de Energía (CNE), la cual tenía como una de sus principales tareas la atención al uso racional de la energía y al desarrollo de las fuentes nacionales, ocupando un papel preponderante el uso de las fuentes renovables.

La CNE encauzó un conjunto de acciones con las que se exponía de forma demostrativa las posibilidades del desarrollo de las fuentes renovables, destacándose el trabajo en el Programa Nacional para el Desarrollo de Mini, Micro y Pequeñas Hidroeléctricas, que contó con el apoyo del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR), HIDROECONOMÍA; la Junta Central de Planificación (JUCEPLAN), el Ministerio de la Industria Sidero-mecánica (SIME), el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), y los órganos provinciales del Poder Popular (OPPP) entre otros, llegándose a instalar en todo el país 200 mini y microcentrales hidroeléctricas, que dan electricidad a unos 34 mil habitantes de zonas montañosas.

Se trabajó asimismo en la formación y entrenamiento, mediante cursos en el país y el exterior, de técnicos jóvenes que fueron especializándose en las distintas fuentes disponibles en el país.

Para consolidar la atención de estas fuentes energéticas, se precisaron entre la CNE y la Academia de Ciencias de Cuba las tareas, líneas de trabajo y proyectos concretos de investigación y desarrollo que estaban en condiciones de apoyar su ejecución, así como el fortalecimiento de las investigaciones de nuevas fuentes, no menos importantes.

Paralelamente se logró que los órganos de la Administración Central del Estado (OACE) definieran sus respectivas líneas de trabajo y proyectos relacionados con estos temas.

También en 1984 se promueve la creación de diferentes grupos de desarrollo en los OACE y en casi todas las provincias del país, dedicados a la generalización del uso de diferentes fuentes renovables de energía, principalmente la hidráulica, el biogás, la biomasa, la solar térmica y la eólica, así como a la realización de trabajos para que dichas fuentes se emplearan de forma eficiente.

Entre estos grupos se destacaron los trabajos del MINFAR, el Ministerio del Azúcar (MINAZ), el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI), el Ministerio del Transporte (MITRANS), el Ministerio del Interior (MININT), el Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL) y los grupos de Pinar del Río, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo, subordinados a los Poderes Populares Provinciales respectivos.

Un acontecimiento importante en el desarrollo de las fuentes renovables de energía en Cuba fue la creación, en mayo de 1984, del Centro de Investigaciones de Energía Solar de la Academia de Ciencias de Cuba en la ciudad de Santiago de Cuba. Este centro se concibe con el ciclo completo de investigación-producción con el objetivo de desarrollar la actividad del aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, en especial la solar térmica, la eólica, fotovoltaica y la de la biomasa, como vías de ahorro de energía y de producción de electricidad.

En diciembre de 1984 se celebra el Primer Fórum de Energía, en cuya clausura, Fidel Castro plantea:

«Todo nuestro pueblo, todos los trabajadores, todos nuestros jóvenes, nuestros estudiantes, incluso nuestros pioneros, tienen que tomar conciencia de la energía, de sus perspectivas futuras.

»...mientras no seamos un pueblo realmente ahorrativo, que sepamos emplear con sabiduría y con responsabilidad cada recurso, no nos podremos llamar un pueblo enteramente revolucionario».

Esas palabras del Comandante en Jefe para clausurar el Primer Foro de Energía, fueron consideradas como los lineamientos para la política energética del país durante mucho tiempo.

En julio de 1984, con la creación por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), del Grupo de Proyectos para el Diseño y Desarrollo de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y Potabilizadoras en la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara, comienza un trabajo de sensibilización, capacitación e implementación del biogás, con técnicos y especialistas del sistema de recursos hidráulicos, así como de profesionales y miembros de la Sociedad de Ingeniería Hidráulica de la UNAICC que, agrupados voluntariamente, se hacen llamar Grupo de Biogás Villa Clara (Proyecto GBV).

En 1985, a proposición del Frente de la Electrónica, y dadas las investigaciones que se desarrollaban en las Facultades de Física y Química, se crea el Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE) en la Universidad de La Habana, que tuvo desde su creación la responsabilidad del desarrollo de dispositivos optoelectrónicos de alta tecnología, y dentro de estos, las celdas solares tanto de silicio como de otros materiales. Las investigaciones del IMRE han abarcado, además de la fotovoltaica, otras temáticas dentro de las fuentes renovables, incluido el hidrógeno.

El Laboratorio Central de Telecomunicaciones (LACETEL) del Ministerio de Comunicaciones comenzó, en 1986, el ensamblaje de módulos solares fotovoltaicos de silicio monocristalino, con una capacidad de fabricación anual de 200 kWp. Esta planta abasteció durante un tiempo las necesidades de paneles solares que tenía el país.

En septiembre de 1988 se funda el Laboratorio de Combustión en Cienfuegos, que se dedicó a investigaciones sobre la combustión de los combustibles renovables sólidos.

En 1992, por recomendaciones del VI Fórum de Piezas de Repuestos y Tecnologías de Avanzada, se crea el Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), una institución docente-investigativa universitaria perteneciente al Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (ISPJAE), con el propósito de contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad cubana a través de su encargo social relacionado con las fuentes renovables, la eficiencia energética y su interrelación con el medio ambiente.

El Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera de la Universidad Central de Las Villas (CETA), se crea en el año 1992, el cual ha desarrollado importantes trabajos relacionados con los centrales azucareros y cuenta con un pequeño central experimental para sus trabajos de investigación y desarrollo.

En cumplimiento de los acuerdos adoptados en la reunión presidida por el General de Ejército Raúl Castro Ruz (Segundo Secretario del CC-PCC) el 3 de noviembre de 1992, se concluyó en mayo de 1993, el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía. Este programa fue el resultado del trabajo realizado bajo la orientación de un grupo de viceministros de diferentes organismos de la Administración Central del Estado, presidido por la Comisión Nacional de Energía y en coordinación con la Junta Central de Planificación y la Academia de Ciencias.

Para la elaboración de este trabajo se contó también con la participación de la información brindada por los Gobiernos territoriales a través de las Áreas Energéticas y los equipos de Inspección Estatal Energética territoriales. En esa etapa llegó a disponerse además del personal profesional con algo más de 2500 técnicos de nivel superior (Inspectores no Profesionales) que apoyaban en los territorios el trabajo energético.

El Programa se aprobó por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros en el propio mes de mayo, presentándose a la Asamblea Nacional en junio de ese año.

En 1993 se fortalece el Grupo de Biogás de Villa Clara, que llega a tener alcance nacional, con la función de fomentar una cultura a todos los niveles sobre el uso y los beneficios de la tecnología del biogás, y paralelamente generalizar la práctica de instalaciones de biogás, tanto en su territorio provincial como en otras provincias del país.

También en Villa Clara se crea en 1994 el Área de Investigación y Desarrollo de Hidroenergía, en la que se agrupan especialistas del INRH, la Universidad Central de Las Villas y Planta Mecánica. Este grupo tiene como objetivos, asesorar a los órganos de gobierno a los diferentes niveles en la temática de la hidroenergía, dar respuesta a las necesidades de diseño, construcción y montaje de instalaciones hidroenergéticas, contribuir a la formación de especialistas y técnicos en hidroenergía, investigar y desarrollar nuevos modelos y familias de turbinas, logrando su introducción en la práctica a través de la generalización del resultado.

A principios de 1994, por un acuerdo entre la Academia de Ciencias de Cuba y Copextel, se crea la División Comercial ECOSOL como parte de la Corporación Copextel S.A., con el principal objetivo de generalizar el uso de las fuentes renovables de energía en Cuba y apoyar el desarrollo de las investigaciones en esta rama.

Como parte de una reorganización de aparato estatal, en abril de 1994 se extingue la Comisión Nacional de Energía. También a mediados del mismo año, el Centro de Investigaciones de Energía Solar, de Santiago de Cuba, deja de ser un centro con carácter nacional y se convierte en provincial.

En noviembre de 1994 se funda la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (CUBASOLAR), la cual fue gestada desde 1993 por la Academia de Ciencias de Cuba, la Comisión Nacional de Energía y las universidades.

En CUBASOLAR se integraron desde sus inicios un nutrido grupo de hombres y mujeres técnicos, investigadores, académicos, y otros que sentían un fuerte compromiso con la necesidad de promover un desarrollo sostenible libre de la dependencia de los combustibles fósiles y la energía nuclear, los que deben ser importados comprometiendo la soberanía del país y el medioambiente.

Los miembros de CUBASOLAR han estado presentes, desde entonces, en proyectos demostrativos, formación de especialistas, en la promoción, en los más importantes grupos técnicos que se han creado en el país para estudiar las potencialidades energéticas y tomar decisiones políticas en cuanto al desarrollo de las FRE en Cuba.

Esta sociedad se crea con el objetivo fundamental de contribuir al desarrollo de las actividades dirigidas al conocimiento y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en la solución de los problemas económicos y sociales del país. Su principal función es la elevación de la cultura energética y de respeto ambiental.

A pesar de que el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía promovía la eficiencia energética y el uso de las fuentes renovables de energía, la política energética del país seguía siendo básicamente petrolera, con una generación de electricidad centralizada en unas pocas centrales termoeléctricas, con la diferencia de que se iban adaptando para que comenzaran a quemar el crudo nacional.

En el momento de la creación de CUBASOLAR, muchos de los decisores consideraban todavía que:

- Las fuentes renovables de energía son muy pocas y además, intermitentes, y si se utilizaran, pudieran abastecer solamente una pequeña parte de la energía necesaria.
- Las fuentes renovables de energía son muy caras.
- Las fuentes renovables de energía son muy dispersas y se requeriría mucho terreno para poder utilizarlas; exhiben «baja eficiencia».
- El viento en Cuba no tiene valor energético. Puede utilizarse solo en pequeños molinos de viento para el bombeo de agua.

II. Algunos aspectos relacionados con el contexto histórico nacional desde la creación de CUBASOLAR hasta la fecha

En 1994 la crisis de electricidad había alcanzado un punto crítico cuando la capacidad de generación se situó por debajo del 40% de su potencial debido a la falta de combustible, lo cual obligó a la paralización de una parte significativa de la industria, y creó una situación muy tensa a la población debido a los cortes de energía cada 8 horas en la capital del país, y por períodos superiores en otras ciudades y pueblos.

Diez años después, en el 2004 colapsaron varias termoeléctricas, comenzando por la de Matanzas, lo que llevó al país a una situación parecida a la de 1994, llegando a reducirse la capacidad de generación a un 38% del potencial, con la consecuente paralización de muchas actividades económicas y la reaparición de cortes de electricidad de similar intensidad a la sufrida diez años antes.

Una vez más se demostraba la debilidad del Sistema Electroenergético Nacional.

A partir de ese momento se produce un cambio en la política energética del país, dando lugar a lo que se denominaría como Revolución Energética, caracterizada por:

- Uso racional de la energía. Desarrollo de una cultura de máximo ahorro y de tecnologías de alta eficiencia.
- Prospección y explotación de todas las fuentes nacionales de energía.
- Producción distribuida de la electricidad y cerca del lugar de consumo.
- Desarrollo de tecnologías para el uso generalizado de las fuentes renovables de energía, con un peso progresivo en el balance energético nacional.

Paralelamente, CUBASOLAR continuaba trabajando, desde su creación, en la formación de una cultura para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía con conciencia y respeto ambiental.

Desde los primeros meses se crearon diferentes delegaciones provinciales, aprovechando el potencial científico y técnico existente formado por la Comisión Nacional de Energía, la Academia de Ciencias de Cuba y las universidades:

1. Camagüey: 15 de diciembre de 1994.
2. Santiago de Cuba: 20 de diciembre de 1994.
3. Holguín: 24 de enero de 1995.
4. Villa Clara: 7 de febrero de 1995.
5. Habana: 17 de febrero de 1995.
6. Guantánamo: 15 de abril de 1995.
7. Ciego de Ávila: 25 de mayo de 1995.
8. Las Tunas: junio de 1995.
9. Granma: 20 de noviembre de 1995.
10. Cienfuegos: 4 de mayo de 1996.
11. Pinar del Río: 31 de marzo de 1999.
12. Matanzas: 22 octubre de 2010.
13. Sancti Spíritus: 13 noviembre de 2010.
14. Artemisa: 29 octubre de 2011.
15. Mayabeque: 29 de enero de 2014.

Desde su creación, la misión de CUBASOLAR quedó claramente definida en el Artículo 5 de sus Estatutos, el cual expresa:

CUBASOLAR tiene como objetivo fundamental contribuir al desarrollo de las actividades encaminadas al conocimiento y aprovechamiento racional de las fuentes renovables de energía; esto es, la energía solar en sus diferentes manifestaciones: la biomasa, el biogás la energía hidráulica, del mar y la eólica, la solar fotovoltaica, la solar térmica, así como su aprovechamiento pasivo, en la solución de los problemas económicos y sociales del país. En este sentido CUBASOLAR debe trabajar para la aplicación de los logros de la ciencia y la técnica en esta esfera, y a tal fin persigue los objetivos siguientes:

a). Promover el uso eficiente de la energía en todas sus formas y aplicaciones, poniendo énfasis particular en el desarrollo de las tecnologías para el suministro descentralizado de energía y el empleo de herramientas modernas para la planificación energética, tales como el análisis de costo mínimo y las medidas orientadas al uso final.

b). Promover la aplicación de los principios energéticos y de respeto ambiental sobre la base del aprovechamiento de las fuentes renovables de que dispone el país, en aras de alcanzar un desarrollo energético sostenible para garantizar el derecho del hombre a una vida saludable y productiva, en armonía con la naturaleza.

c). Promover el desarrollo de las investigaciones científicas referidas al aprovechamiento de la energía solar en sus diferentes manifestaciones que den solución a problemas económicos y sociales a nivel nacional y local, en dependencia de las posibilidades y necesidades de cada territorio.

d). Promover la enseñanza y la divulgación de los conocimientos acerca de las riquezas energéticas de nuestro país, su extraordinario valor y la necesidad y posibilidad de su aprovechamiento, entre niños, jóvenes y adultos.

e). Fortalecer la preparación del personal científico y técnico del país y contribuir a la formación de los jóvenes en el uso de las energías renovables, mediante vías y métodos idóneos.

f). Mantener relaciones profesionales con otras sociedades o instituciones afines, tanto nacionales como extranjeras, con vistas a contribuir al intercambio de información y

experiencias que coadyuven al desarrollo de las investigaciones científicas y técnicas del país, al desarrollo especializado y a la creación de fondos para la inversión en estas actividades.

Entre los principales resultados que ha tenido el trabajo de CUBASOLAR en estos 20 años, se encuentran:

Se han creado cientos de círculos de interés en escuelas de todo el país.

Se ha apoyado la creación de cátedras, aulas especializadas y círculos científicos en diferentes universidades.

Se construyó la Villa del Educador en Granma, donde se han celebrado eventos nacionales, e impartido conferencias sobre energética sustentable y desarrollo sostenible.

Se contribuyó a la restauración de la Ciudad Escolar Camilo Cienfuegos, en Granma, con amplias aplicaciones de las fuentes renovables de energía.

Se creó en Bartolomé Masó, Granma, el Centro de Estudio Solar, donde se forman cientos de estudiantes y profesores cada año.

Se apoyó la creación de la sala de energía solar en el Museo de Historia Natural Tranquilino Sandalio de Noda de Pinar del Río, donde se reciben decenas de miles de visitantes cada año.

Se promovió la creación de la Universidad Técnica de Energía Renovable (UTER), donde se han realizado numerosos eventos nacionales e internacionales, trabajos de diploma, proyectos de curso, tutorías de tesis de maestría y de doctorado

Se ha prestado apoyo al desarrollo de las Universidades de Montaña, así como a la creación de filiales universitarias en los municipios.

Se creó el sitio web de CUBASOLAR.

Se han confeccionado más de 10 vídeos especializados.

Se han publicado diferentes bolsilibros, entre los que se destacan: Ideología solar: hacia la vida; El reloj solar; Hacia la cultura solar; Energía eólica y Tecnología del biogás. Además,

libros entre los que se pueden mencionar: El Camino del sol, El Camino del Sol para niños y jóvenes, Energía y democracia, Manual de secadores solares, Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica, Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares.

Se ha desarrollado un Programa de Electrificación Solar Fotovoltaica dirigido a los consultorios del médico de la familia, ubicados en zonas montañosas de difícil acceso. Este proyecto ha proveído al consultorio y a la vivienda el servicio de iluminación, refrigeración, televisión, radio-grabadora, equipos electromédicos y radio-comunicación. Hasta la fecha se han electrificado cerca de 500 casas consultorios.

Se colaboró con la formación de brigadas para la electrificación de 2 364 escuelas rurales en el Programa Audiovisual financiado por el Estado cubano, con cerca de 5 000 instalaciones para la iluminación, televisión, video y el uso de computadoras.

Se han electrificado diversos internados de montaña con sistemas fotovoltaicos.

Dentro del Programa Audiovisual, se apoyó también la electrificación de 1 864 salas de televisión y video con paneles solares para la población rural en zonas remotas y de difícil acceso.

Se han electrificado con energía solar varios círculos sociales de montaña.

Se instaló un sistema híbrido eólico-diesel en Cayo Romano y algunas soluciones híbridas eólicas fotovoltaicas con excelentes resultados en los cayos Sabinal, Guajaba y Romano, y en la Isla de la Juventud.

Se han electrificado, además, diversos objetivos sociales y económicos en zonas de difícil acceso a donde no llega el Sistema Eléctrico Nacional, principalmente, los hospitales de montaña.

Se terminó el parque eólico demostrativo de la Isla de Turiguanó, con dos aerogeneradores de 225 kW de potencia cada uno (total: 450 kW). Esta instalación está interconectada al Sistema Electroenergético Nacional desde hace 15 años y ha servido como Centro de Capacitación en Energía Eólica.

Se han instalado más de 500 cocinas eficientes de leña en escuelas y otros objetivos sociales.

Se ha atendido con prioridad, la instalación o rehabilitación de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas, en función de aportar a la generación de electricidad y al suministro de agua por gravedad con sus consecuentes resultados positivos en la producción de alimentos y en el bienestar social. También pueden mencionarse, como ejemplo, la reconstrucción de la hidroeléctrica del Guaso, en Guantánamo.

Se han ejecutado proyectos para mitigar la desertificación en el Sur de la provincia de Guantánamo, con el objetivo, entre otros, del autoabastecimiento de leche producida en vaquerías de los municipios San Antonio del Sur e Imías, y se colaboró para amortiguar los efectos permanentes de la sequía en la franja costera e impulsar la repoblación forestal.

Se estableció un Programa Nacional para la electrificación fotovoltaica de las viviendas de campesinos de zonas aisladas, en cumplimiento de las directivas de nuestra Revolución de electrificar la totalidad de las casas cubanas, independientemente de donde estén situadas.

Se ha concedido especial atención al programa de abastecimiento de agua potable en comunidades apartadas y de difícil acceso, mediante sistemas solares fotovoltaicos.

Especial apoyo se ha dado a los proyectos de solarización territorial, concebidos como el desarrollo integral de un territorio o municipio, basados en el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. En esta solarización territorial se está trabajando en el presente en los municipios de Bartolomé Masó y Guamá.

Se han apoyado la creación o el fortalecimiento de centros de investigación y desarrollo para el uso de las fuentes renovables de energía y la conservación del ambiente, entre ellos, el CIES y el CEEFE en Santiago de Cuba, CATEDES y el Centro de Desarrollo de la Montaña en Guantánamo, el CITA en Camagüey, el CETA en Villa Clara, el CETER y CUBAENERGÍA, en Ciudad de La Habana.

Se ha apoyado al Combinado Che Guevara, en Pinar del Río, para la fabricación de paneles solares.

Se ha logrado también el desarrollo de secadores solares de madera, plantas medicinales, frutas y otros productos, con tecnologías constructivas modulares de avanzada en función de lograr mayores progresos en la generalización de esta práctica.

Se apoyó la producción nacional de turbinas para el aprovechamiento hidroenergético, lámparas fotovoltaicas portátiles, aerogeneradores pequeños, calentadores y destiladores solares, etc.

Se han construido dos veraneros para investigaciones de cultivo de semillas y vitroplantas

Se apoyó la generalización del uso de la biomasa y el biogás, sobre todo para el tratamiento económico de los efluentes agropecuarios, industriales y urbanos. Especial interés se le ha dado al movimiento de usuarios del biogás (MUB).

Se ha participado en planes para el incremento del uso de la hidroenergía, con énfasis en el impulso a la construcción de un significativo número de acueductos por gravedad, y la construcción de arietes hidráulicos principalmente en zonas del país donde no llega el servicio del Sistema Electroenergético Nacional

Se han celebrado sistemáticamente los talleres internacionales de solidaridad CUBASOLAR cada dos años. Estos talleres se han caracterizado por contribuir a la formación de una conciencia energética y de respeto ambiental y al fortalecimiento de los nexos con instituciones amigas de Cuba

Se donó la transferencia de tecnología de construcción de secadores solares y se formaron especialistas en secado de madera en Pucallpa, región amazónica peruana y se han realizado colaboraciones con Venezuela, Chile, Guatemala, Nicaragua, Bolivia, Ecuador, Haití, Honduras, Guinea Bissau, México, Mali y Suráfrica.

Como homenaje al Guerrillero Heroico, fue electrificado con energía fotovoltaica el consultorio o posta médica en La Higuera, Bolivia, en la antigua escuelita donde fuera asesinado el Che.

Un logro significativo ha sido la publicación en formato electrónico de la revista Eco Solar y muy especialmente de la revista científico-popular Energía y tú, tanto en papel como en formato electrónico, la cual lleva 17 años consecutivos su publicación trimestral.

La energía y el desarrollo local en Cuba.

En el país domina un modelo energético petrolero centralizado y verticalista, esto quiere decir que a través de la industria eléctrica cubana se genera y distribuya por el Sistema Electro Energético Nacional (SEN), en el que están interconectados las 11 termoeléctricas que operan en todo el país, con esta infraestructura el país garantiza el suministro eléctrico a los objetivos económicos y sociales prioritarios. De igual forma se garantiza el suministro de combustible a todo el país.

En los años 90 en Cuba se iniciaron los estudios para activar económicamente las estructuras de gobierno local, en medio de la profunda crisis generada por el Periodo Especial, en la que el país pierde el 83% de las relaciones monetario mercantiles que sostenía fundamentalmente con el bloque conformado por los ex Países Socialistas.

El estudio abrió el desarrollo de un conjuntos de experiencias en el ámbito del desarrollo local en el que rápidamente se incorporó la línea energética, CUBASOLAR en la segunda mitad delos años 90 comienza a desarrollar la “solarización territorial” en los municipios Bartolomé Masó y Guamá, de las provincias Granma y Santiago de Cuba respectivamente, financiada fundamentalmente por la colaboración internacional.

La Solarización Territorial “Es una estrategia de Desarrollo Local que contribuye a satisfacer progresivamente las necesidades energéticas de un territorio, partiendo de su potencial de recursos naturales y materiales existente (Peña, 2012)¹⁰

Su objetivo es “(...) trabajar en la reducción progresiva del consumo de los combustibles fósiles hasta llevarle a la mínima expresión técnica y económicamente más conveniente, por medio de su ahorro, uso más racional y eficiente y la sustitución de estos por los recursos renovables que la naturaleza pone en nuestras manos, sin afectar producciones o servicios, ni el

¹⁰ Peña, E. (2012). *Estrategia para la Solarización Territorial del Municipio de Bartolomé Masó Márquez, Provincia Granma-Cuba*. X Taller Internacional CUBASOLAR 2012. Guamá, Santiago de Cuba: Editorial CUBASOLAR. p. 1.

nivel de confort de la población y un nivel de desarrollo sostenible y sustentable en un territorio hasta alcanzar su plena autonomía energética.”¹¹.

Luego CUBAENERGÍA en el 2004 en coordinación con CUBASOLAR inicia un proceso de articulación con experiencias municipales de desarrollo local e incorpora la noción de la sostenibilidad energética de las estrategias de desarrollo local basado en el uso de las FRE, esta experiencia metodológica fue desarrollada y aplicada en 11 municipios del país y su resultado más importante fueron un conjunto de metodologías aplicadas para:

- Creación de equipos de trabajos locales denominados Nodos Municipales de Energía para apoyar al gobierno local en el manejo de la problemática energética del municipio.
- Diagnóstico del estado de la gestión energética municipal.
- Elaboración de los programas de desarrollo de la gestión energética municipal.
- Y por último la construcción colectiva (en que participaron especialistas y decisores de 5 de los 11 municipios con los que se trabajó en la primera etapa) de una metodología para el desarrollo de cadenas de autoabastecimiento energético municipal basada en el uso de las FRE, la que fue validada en dos municipios pero no está aplicada.

En los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, aprobados en el último congreso, varios de estos se refieren a un desarrollo energético sostenible. A partir de los Lineamientos, se han tenido avances significativos, como es la creación por Decreto Presidencial de la Comisión Gubernamental, con los principales objetivos siguientes:

1. Reducir la dependencia de los combustibles fósiles con el consiguiente efecto en la independencia energética del país.

2. Disminuir el alto costo de la energía que se entrega a los consumidores, debido a los precios de los combustibles y a la ineficiencia del sistema eléctrico que afecta directamente la competitividad de la economía en su conjunto.

¹¹ *Ibíd.* p. 2.

3. Contribuir a la sustentación medioambiental, teniendo en cuenta que en el país la producción de energía con combustibles fósiles es una de las mayores fuentes de contaminación ambiental.

Sin ir muy atrás, sino solamente al año pasado 2013, se aprecian algunos logros:

- Se construyó una planta de generación de electricidad de 500 kW con biomasa forestal en La Melvis, en la Isla de la Juventud.
- Se construyeron 3 plantas de biogás del MININT para el autoconsumo de electricidad de centros porcinos con una potencia de 120 kW cada una, ubicadas en Pinar del Río, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila.
- Se construyeron 7 parques solares fotovoltaicos con una potencia de 11 MW en Guantánamo (2,5), Santiago de Cuba (1,5), Camagüey (1,6), Santa Clara (1), Cienfuegos (2,6), Isla de la Juventud (0,8) y La Habana (1).
- Se rehabilitaron 8 instalaciones hidroeléctricas: El Nicho (190 kW) en Cienfuegos; Pico Blanco (200 kW) en Villa Clara; Cirugía (60 kW) y Pozón de Canabacoa (200kW) en Granma; El Mulo (22) en Pinar del Río; Uvero (200kW) en Santiago de Cuba; Arroyón (260kW) en Guantánamo, y la Unidad No 1 de Hanabanilla con 14 MW.

No obstante lo logrado, la situación actual energética de Cuba se caracteriza por:

- Alta dependencia del combustible importado (más de 50%) y por tanto baja seguridad energética.
- Un consumo relativo doméstico muy alto (más de 50%) en comparación con la industria y el comercio, lo que dificulta una disminución de la demanda máxima por acomodo de carga.
- Alto subsidio al consumo doméstico de electricidad para que su precio esté en correspondencia con el ingreso familiar.
- Una diferencia muy alta entre la demanda de electricidad máxima y la mínima durante el día. A pesar de los esfuerzos realizados en el acomodo de carga, la demanda máxima es el doble de la demanda mínima.

- Ausencia de venta a la población de equipos que pudieran disminuir el consumo e inclusive generar electricidad, tales como sistemas fotovoltaicos, pequeños aerogeneradores, etcétera.
- Venta simbólica de equipos tales como calentadores solares a precios que el comprador, como paga la electricidad subvencionada, no recupera la inversión en la vida útil del calentador, cuando el Estado recuperaría la inversión en menos de dos años, solo con el ahorro de energía.

Las proyecciones actualizadas en el 2017 por el MINEM se plantean:

Objetivos estratégicos de la Política:

- Transformar la estructura de las fuentes energéticas empleadas en la generación y el consumo de electricidad, incrementando la participación de las FRE,
- Elevar la eficiencia en la generación y en el consumo de la electricidad, logrando la reducción de los costos del kWh entregado por el SEN.
- Elevar la sustentabilidad medioambiental de la economía y reducir la contaminación.

El desarrollo prospectivo proyectado para el desarrollo de las Fuentes Renovables de la Energía hasta el 2030 plantea:

Crece el porcentaje de generación de electricidad con FRE en el SEN de un 4% a un 24%, instalando 2144 MW en nueva potencia eléctrica a través de:

- 19 Bioeléctricas: 755 MW
- 13 parques eólicos: 633 MW
- Parques Solares Fotovoltaicos: 700 MW
- 74 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas: 56 MW

También se plantea aprovechar otras potencialidades

- Energía Solar Térmica
- Biomasa Forestal
- Desechos Sólidos Urbanos

- Residuos Orgánicos Industriales y de la Agricultura

Además se propone hacer una fuerte inversión en el incremento de la Eficiencia Energética a través de:

- Sustituir 13 millones de lámparas fluorescentes por LED en el en el sector residencial y 2 millones de cocinas eléctricas de resistencia por cocinas de inducción en el sector residencial.
- Instalar 250 mil lámparas LED de alumbrado público y 200 mil m² en calentadores solares. Estos últimos ahorran como promedio el 12 % de la electricidad en las viviendas donde se instalan.

Para el nuevo escenario energético cubano que se ha proyectado hasta el 2030 y los que van emergiendo desde los gobiernos locales se hace necesario desarrollar capacidades de estudio de recursos energéticos tecnológicos y socioculturales, planificación y gestión de los recursos energético renovables para garantizar que el transito no sea solo la sustitución de una fuente por otra, sino un profundo proceso transformador que abra nuevos horizontes para el desarrollo cubano en todos los ámbitos: sociocultural, económico productivo, ambiental e institucional, a lo que proyectos como HYBRIDUS pueden hacer una verdadera contribución.

PARTE II. ESTUDIO DE ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES LOCALES DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-BIOMASA

En esta parte abordaremos los principales aspectos científico-técnicos del proyecto, cubriendo en primer lugar los relacionados con los recursos de energías renovables (solar y biomasa), para a continuación entrar más en detalle en los apartados tecnológicos relativos a la gasificación y, posteriormente, en la caracterización de un sistema híbrido solar-biomasa. Finalmente, se aborda desde una perspectiva geográfica, la problemática de la electrificación rural en la zona de estudio.

Capítulo 4. Evaluación del potencial solar (Luis Zarzalejo¹²).

La independencia energética es sin ninguna duda una de las prioridades para Cuba, cuyas políticas energéticas han apostado por el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía disponibles y el potenciamiento de la eficiencia energética.

Cuba, como otros muchos estados, tiene un considerable déficit energético debido a la escasez de combustibles fósiles de origen local a lo que habría que añadir el envejecimiento de los equipos de producción cuyo combustible dominante es fuel. Sin embargo, el país tiene un gran potencial solar que podría ser utilizado para disminuir gran parte de la generación energética a partir del petróleo. La adecuada explotación de este recurso natural inagotable precisa de un conocimiento tanto desde el punto de vista cuantitativo como su distribución espacio-temporal y ya desde principios de los años 80 existen estudios detallados de la climatología solar cubana y su representación.

La radiación solar es una variable registrada en muy pocas estaciones meteorológicas y durante cortos y, en la mayoría de las ocasiones, discontinuos períodos de tiempo. Esto, junto a la variabilidad espacial que presenta, hace patente una clara insuficiencia en la disponibilidad de información acerca del potencial solar en emplazamientos concretos, lo que provoca a su vez graves dificultades a la hora de proyectar/dimensionar sistemas de aprovechamiento de la energía solar.

Tradicionalmente, la inexistencia de datos radiométricos en una localización geográfica determinada se suplía mediante:

- Datos de estaciones cercanas. Esta opción, únicamente es válida si se trata de un terreno llano y la distancia entre estaciones es menor a 10 km. En caso de terrenos complejos o distancias superiores, la utilización de los datos de radiación de otro emplazamiento para estudiar el comportamiento de la radiación o simular el funcionamiento de un sistema de aprovechamiento energético es completamente inadecuada.

¹² División de Energías Renovables, CIEMAT.

- Interpolación de medidas radiométricas de estaciones cercanas. Esta solución, es aplicable cuando la red de estaciones de radiación solar tiene una densidad considerable (puede precisarse una densidad de 20~50 km. de distancia entre estaciones) y en función del tipo de terreno. La interpolación de estos datos teniendo en cuenta la topografía como variable de entrada permite utilizar datos de redes radiométricas de menor densidad, ~100 km.

Para suplir estas carencias, la estimación de la radiación solar a partir de:

- Heliofanía (tiempo de irradiación solar por encima de un determinado umbral) registrada en estaciones actinométricas.
- Imágenes procedentes de satélites geoestacionarios.

Esta última metodología constituye una herramienta idónea (fundamentalmente en cuanto a distribución espacial y disponibilidad de series representativas) indiscutiblemente aceptada por la comunidad científica como la más útil para la estimación de la distribución espacial de la radiación solar (McArthur, 1998)

1. Análisis del recurso solar disponible en Guamá (Santiago de Cuba)

Uno de los objetivos fundamentales del Proyecto HYBRIDUS es el análisis de idoneidad de una planta de producción de energía eléctrica y térmica mediante la hibridación de dos fuentes de energías renovables (biomasa sólida y energía solar fotovoltaica) como apoyo/alternativa de abastecimiento energético en explotaciones agropecuarias aisladas en las provincias de Santiago de Cuba y Guantánamo.

Para la realización de este estudio es preciso, una vez seleccionado el emplazamiento y las tecnologías a implementar, la generación de una secuencia meteorológica representativa que incluya los datos de radiación solar necesarios para dimensionado, simulación y optimización de la planta de producción energética.

Como paso previo a la generación de la serie temporal representativa es preciso identificar toda la información disponible sobre el recurso solar existente en la zona de estudio: atlas radiométricos, estaciones terrestres de medida, estimaciones provenientes de tratamiento de imágenes de satélite... para, posteriormente, proceder a su análisis y valoración.

Los primeros trabajos enfocados a la generación de mapas de insolación anual y de radiación solar global (media anual), fueron publicados en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba en la sección de Clima (Varios autores, 1989). Los valores de radiación solar presentados en este trabajo proceden de la aplicación de la fórmula empírica de Angstrom a los valores diarios de insolación registrados en las estaciones meteorológicas disponibles.

Más recientemente se han publicado nuevos resultados bien a partir de valores heliográficos (Bárceñas et al., 2004) o aplicando modelos de estimación de la radiación solar a partir de imágenes de satélite (Borrajero et al., 2005). Estas investigaciones han permitido regionalizar la isla en función de la cantidad de energía solar recibida mensualmente y/o por en periodos seleccionados.

Desafortunadamente, de las tres referencias presentadas solamente existe una versión digitalizada en baja resolución de los resultados obtenidos en el trabajo de Borrajero que permite su explotación mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Respecto a la red radiométrica existente en el archipiélago cubano, no disponemos de un mínimo de información acerca de su distribución geográfica, instrumentación, periodo de operación,... Bárceñas et al. (2004) señalan la existencia de 67 estaciones meteorológicas (representativas de las variables meteorológicas a nivel local y en un perímetro cercano en función de la orografía) y una muy insuficiente red de estaciones radiométricas: cuatro estaciones ubicadas en Camagüey 21.4°N 77.85°W, Casablanca 23.15°N 82.35°W, Jovellanos 22.783°N 81.183°W y La Fe 21.73°N 82.75°W (Borrajero et al., 2005).

Por otro lado, debemos añadir que para la aplicación de modelos de estimación de la radiación solar a partir de imágenes de satélite Cuba no cuenta con series suficientemente largas de imágenes que permitan la elaboración de un atlas de radiación solar de calidad contrastada: valores de radiación registrados en tierra poco representativos y base de imágenes de satélite muy reducida.

Fuentes de información disponibles

Tal y como se ha descrito anteriormente, la disponibilidad de datos de radiación solar en Cuba es muy escasa por lo que se han considerado la siguiente información pública:

- Atlas de radiación solar a partir datos de insolación (Bárcenas et al., 2004).
- Atlas de radiación solar modelizada a partir de imágenes de satélite (Borrajero et al., 2005).
- BBDD proporcionada por el programa Meteonorm (<http://meteoswiss>)

Radiación solar a partir de datos de insolación

Según se ha presentado anteriormente, el trabajo de Bárcenas et al. (2004) proponen una cartografía solar de Cuba modelada a partir de datos de insolación. Tal y como muestra la figura 4.1, la distribución de las estaciones heliográficas consideradas en modelización es adecuada para la aplicación de técnicas de interpolación espacial.

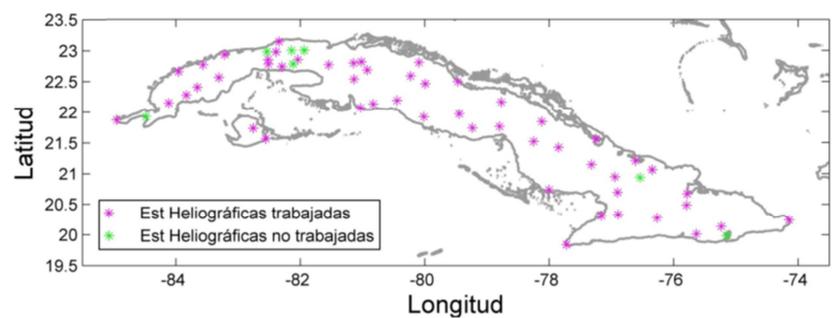
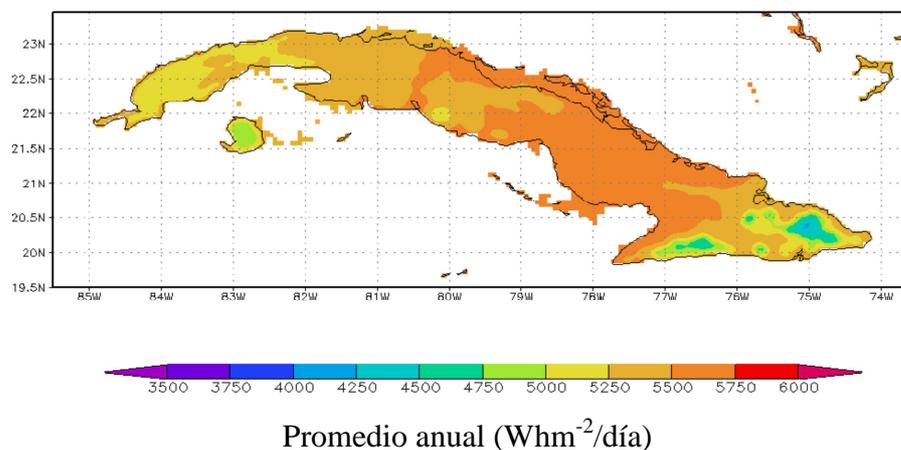


Figura 4.1. Ubicación de las estaciones heliográficas procesadas y no procesadas (Bárcenas et al., 2004).

Por otro lado, el trabajo referenciado presenta con claridad la metodología de modelización de la radiación solar a partir de insolación y la validación de los resultados obtenidos en las estaciones de control. La figura 4.2 muestra los promedios de radiación global sobre superficie horizontal tal y como aparece publicada en el mencionado trabajo.



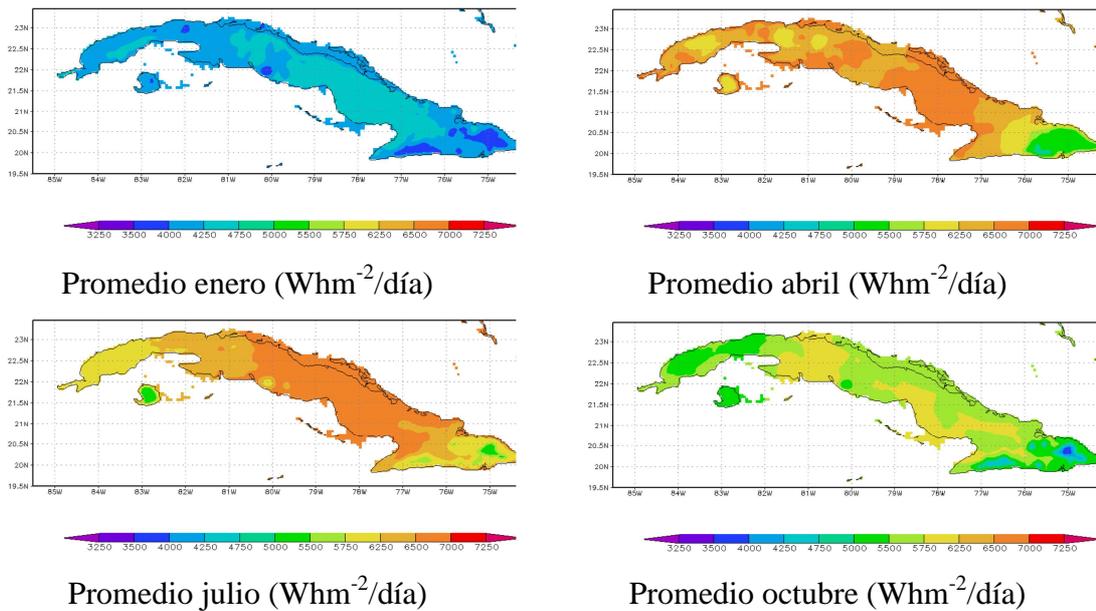


Figura 4.2. Mapas promedio de radiación solar global sobre superficie horizontal (Bárcenas et al., 2004).

Lamentablemente tan solo disponemos de una serie de mapas en formato imagen (meses de enero, abril, julio y octubre a diferentes inclinaciones) y no los ficheros georreferenciados que permiten generar la imagen y extraer la información de una localidad concreta.

Radiación solar a partir de imágenes de satélite

El uso de imágenes de satélite para la estimación de la radiación solar presenta grandes ventajas, destacan:

- Registran grandes áreas de terreno de forma simultánea, lo que permite conocer la distribución espacial cuasi-instantánea de la información.
- Las imágenes de satélites son superponibles (corresponden a una misma zona geográfica) por lo que es posible estudiar la evolución temporal de los valores estimados en cada píxel de la imagen.
- Es posible analizar situaciones anteriores en caso de disponer de una base de imágenes histórica.

Los satélites que mejor se adaptan a estos requisitos (amplia cobertura espacial simultánea, superponibilidad de imágenes y disponibilidad de información histórica) son los satélites geostacionarios (Zarzalejo, 2006).

Desde hace más de cuarenta años, numerosos autores han estudiado la posibilidad de determinar la radiación solar sobre la superficie terrestre a partir de las imágenes obtenidas por este tipo de satélites. Los dos pioneros, Gautier y Tarpley (Gautier et al., 1980; Tarpley, 1979), presentaron, respectivamente, un modelo físico y uno estadístico, utilizando el primer satélite geostacionario meteorológico (GOES).

En el caso de Cuba, Borrajero (2005) relata que en el año 2000 se aplicó un modelo de estimación de la radiación solar con imágenes de satélites GOES de baja resolución espacio-temporal (8 km-1hora) durante dos años. Con posterioridad, estos autores desarrollaron y aplicaron una metodología de estimación de la radiación solar sobre imágenes de alta resolución espacial-temporal (1km-15 minutos) surgiendo una nueva vía para estimar la radiación solar con mayor precisión por medio de las imágenes de satélite (Borrajero et al., 2005).

Los resultados obtenidos por Borrajero y colaboradores se encuentran disponible en el portal de SWERA (<https://openei.org/apps/SWERA/>)¹³ “Solar and Wind Energy Resource Assessment”. La iniciativa SWERA reúne bases de datos y mapas de recurso eólico-solar y herramientas de análisis desarrolladas por distintas organizaciones internacionales. La información y los datos proporcionados son de uso libre con la intención de promover y facilitar el trabajo de responsables políticos, planificadores de proyectos, investigadores e inversores en el ámbito de las energías renovables.

En el portal de SWERA pueden encontrarse mapas promedio anual-mensual de radiación solar global sobre superficie horizontal, sobre superficie inclinada según la latitud y directa normal. La figura 4.3 es una colección de mapas de radiación solar global sobre superficie horizontal generados por NREL (National Renewable Energy Laboratory) en diciembre de 2003.

¹³ <https://openei.org/apps/SWERA/> acceso 27/09/2017

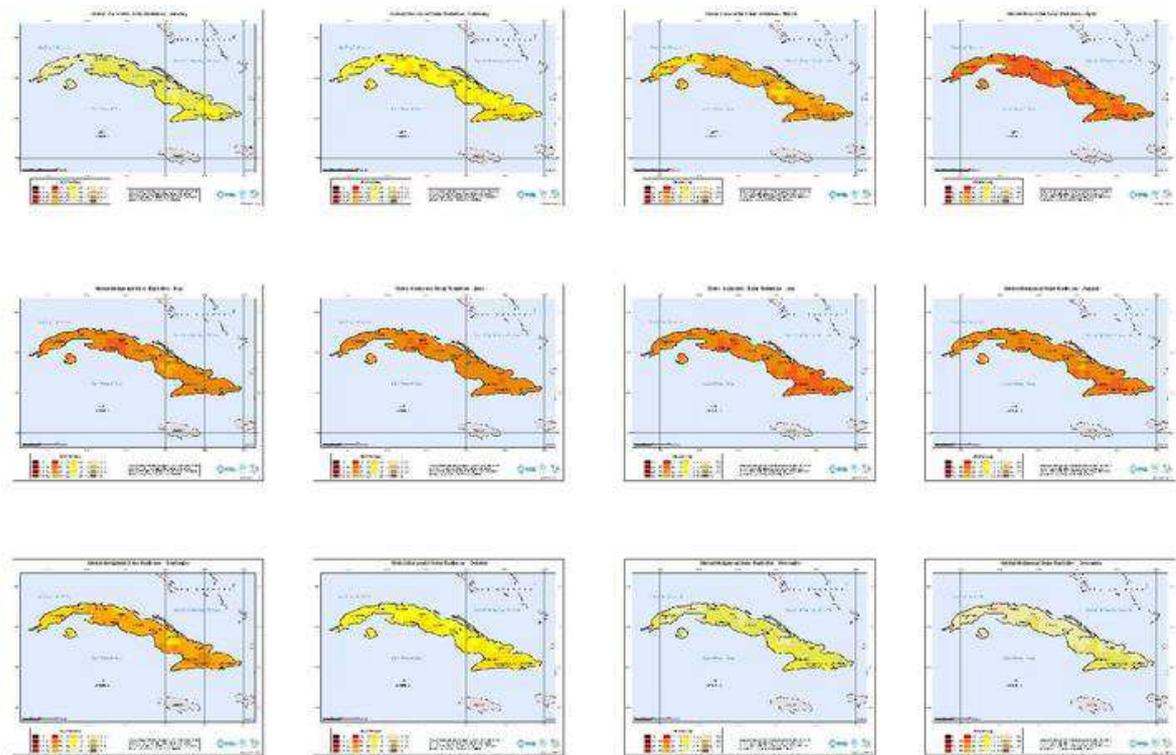


Figura 4.3. Mapas promedio de radiación solar global sobre superficie horizontal (NREL, 2003).

El portal SWERA ofrece también una colección de mapas de recurso solar a distintas resoluciones espaciales directamente de la página de NREL asociada SWERA (<https://maps.nrel.gov/swera>)¹⁴; las figuras 4.4 a 4.6 muestran mapas anuales de radiación solar global sobre superficie horizontal a distintas resoluciones espaciales. Además del material gráfico, SWERA también permite la descarga de datos de radiación global sobre superficie horizontal en diversos formatos que permiten su tratamiento con herramientas GIS.

¹⁴ <https://maps.nrel.gov/swera>, acceso 27/09/17



Figura 4.4. Radiación solar global sobre superficie horizontal anual (Resolución 1°, NASA).



Figura 4.5. Radiación solar global sobre superficie horizontal anual (Resolución 40 km., NREL)

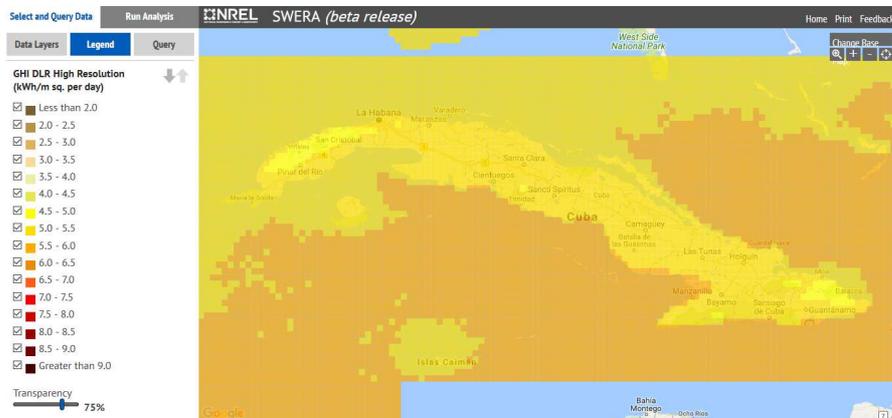


Figura 4.6. Radiación solar global sobre superficie horizontal anual (Resolución 10km., SUNY).

2. Generación del Año Meteorológico Tipo para Guamá (Santiago de Cuba)

En las distintas etapas que acompañan a la planificación, diseño y puesta en marcha de una planta de producción de energética a partir de energía solar es preciso realizar estudios de viabilidad técnico-económica que requieren la simulación de la producción de energética. Todos estos estudios de simulación necesitan de información precisa, ordenada y estandarizada del recurso solar y de otras variables meteorológicas.

Es por tanto necesario disponer de un año completo de datos de las variables meteorológicas que influyen en la operación de una planta y que permita ejecutar la simulación de la planta de generación con las distintas configuraciones posibles. Este año estándar de datos se conoce con el nombre de Año Meteorológico Típico (AMT) o, más habitual, por sus siglas en inglés TMY (Typical Meteorological Year).

Una de las primeras propuestas de generación de AMT Típico se desarrolló a finales de los años 70 en los Laboratorios Nacionales Sandia (Hall I. J. et al., 1978) empleando parte de la base de datos SOLMET/ERSATZ (26 estaciones con datos radiométricos sobre un total de 248 estaciones meteorológicas) cubriendo el periodo 1951-1976. Este AMT se formó a partir de la concatenación de meses típicos para formar un año con 8760 registros horarios. Cada mes se valoró en función de 9 variables: media, máxima y mínima de temperatura y temperatura de rocío, velocidad de viento, máxima y media, y radiación global; para la selección del mes típico se utilizó una suma ponderada de estadísticos (Finkelstein J.M., Schafer R.E.,1971).

La evolución más reciente de este tipo de AMT es el denominado TMY versión 3 generado con datos procedentes de estaciones radiométricas y datos de radiación solar estimados a partir de imágenes procedentes del satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) para un periodo de registro de 8 años (1998-2005) según el modelo SUNY (State University of New York).

Las metodologías de generación de AMT presentadas, denominadas con frecuencia “empíricas”, precisan de una gran cantidad de datos meteorológicos registrados en la región que se desea caracterizar. Estos requerimientos, como es nuestro caso, son difícilmente alcanzables por lo que a finales de los 80 algunos investigadores comenzaron a desarrollar metodologías de

generación de AMTs a partir de promedios mensuales de las principales variables meteorológicas (Aguiar, R. J. et al, 1988; Aguiar, R. J. and Collares-Pereira, M., 1992). Hoy en día, los AMTs generados a partir de promedios mensuales, comúnmente denominados “sintéticos”, pueden generarse casi para cualquier localización geográfica utilizando valores promedio medidos y/o estimados a partir de imagen de satélite junto con las técnicas de interpolación espacial adecuadas.

El software comercial Meteonorm (<http://www.meteonorm.com/>)¹⁵ permite generar AMTs para cualquier localización: irradiación, temperatura, humedad, viento, precipitación, etc. Con una completa base de datos cualificados procedentes de 8325 estaciones meteorológicas y cinco satélites geoestacionarios. Esta herramienta incluye los modelos de generación de sintéticos e interpolación más avanzados y proporciona los datos típicos en los formatos adecuados para la mayoría de los programas de simulación energética más utilizados.

Tras el análisis de los datos disponibles y la imposibilidad de utilizarlos para la generación de un AMT para la localidad de Guamá, se propone la generación de una serie horaria de radiación solar representativa sintética (temperatura ambiente y velocidad de viento en superficie) utilizando el software de referencia Meteonorm V7.0. La Figura 4.7. muestra una captura de pantalla del programa donde se aprecia la localización geográfica seleccionada.

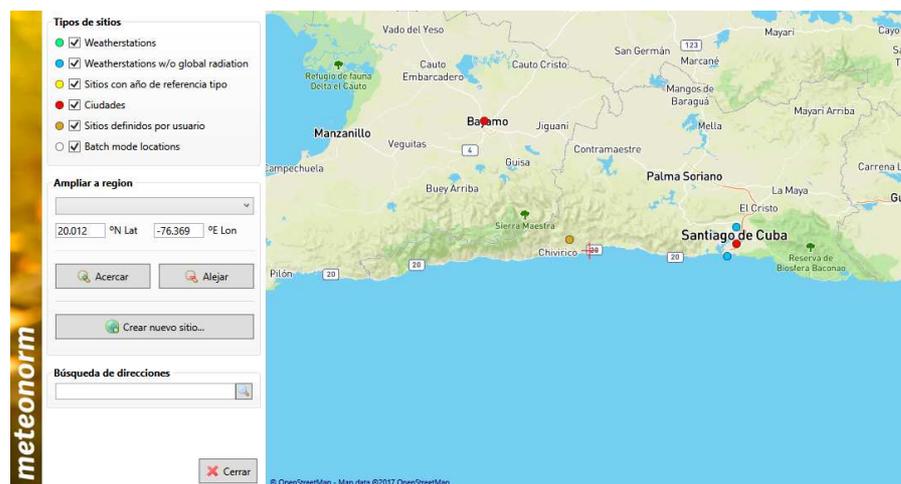


Figura 4.7. Localización geográfica seleccionada para la generación del AMT.

¹⁵ <http://www.meteonorm.com/>, acceso 27/09/17

Para la generación sintética del AMT en Guamá (20.01 °N, 76.37 °W, 291 m. de altitud), Meteonorm nos indica que utilizará datos de radiación solar estimados durante el periodo 1991-2010 y datos psicrométricos correspondientes al periodo 2001-2009. La precisión de la modelización reportada es del 8% para la serie de radiación global sobre superficie horizontal y de $\pm 1^\circ\text{C}$ en la temperatura ambiente. Las figuras 4.8 y 4.9 muestran un resumen gráfico de los valores generados.

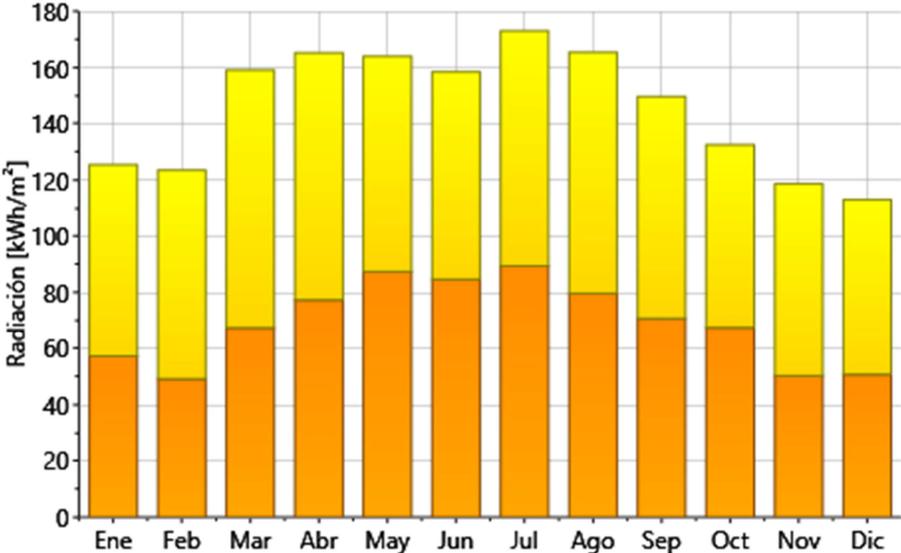


Figura 4.8. Radiación solar generada. Promedios mensuales.

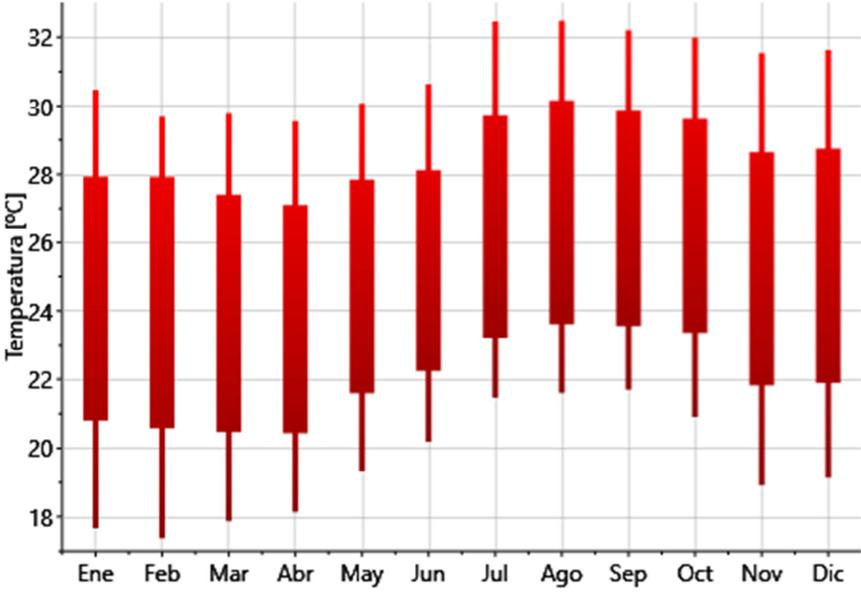


Figura 4.9. Temperatura ambiente generada. Promedios mensuales.

3. Referencias

Aguiar, R. J., Collares-Pereira, M. and Conde, J. P., 1988. Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov transition matrices. *Solar Energy*. 40, 269-279.

Aguiar, R. and Collares-Pereira, M., 1992. TAG: A time-dependent, autoregressive, Gaussian model for generating synthetic hourly radiation. *Solar Energy*. 49, 167-174.

Bárcenas, M., Borrajero, I., Peláez, J. C., Guerra, A., Ávila, M., Águila, L., Fernández, C., Martínez, R. F., Gutiérrez, M. B., Ángulo, G., 2003. Determinación de la distribución de radiación solar sobre el territorio nacional partiendo de la información que brinda la red heliográfica. Informe Final de Proyecto (600.20411) INSMET.

Borrajero, I., Lavastida, L., Peláez, J. C., 2005. Determinación de la Irradiación Solar Sobre el Territorio de Cuba a Partir de Imágenes de Satélites Informe Final de aportación INSMET al Proyecto SWERA (<https://openei.org/datasets/dataset/determinacion-de-la-irradiacion-solar-sobre-el-territorio-de-cuba-a-partir-de-im-genes-de-satelites>).

Finkelstein J.M., Schafer R.E. (1971). Improved Goodness-of-Fit Tests. *Biometrika*, 58(3), pp. 641-645.

Gautier, C., Diak, G. and Masse, S., 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data. *Journal of Applied Meteorology*. 19, 1005-1012.

Hall I. J., Prairie R. R., Anderson H. E. and Boes E. C., (Report 1978). Generation of typical meteorological years for 26 SOLMET station. Sandia Laboratories Report SAND 78-1601. Albuquerque (USA).

McArthur, L. J. B., 1998. Baseline Surface Radiation Network (BSRN). Operations manual V1.0. Serie: World Climate Research Programme. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva (Switzerland).

Tarpley, J. D., 1979. Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data. *Journal of Applied Meteorology*. 18, 1172-1181.

Varios autores, 1989. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía de Cuba, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana. Sección Clima, pp VI.1.1.4.

Zarzalejo, L. F., 2006. Irradiancia solar global horaria a partir de imágenes de satélite. Serie: Colección Documentos CIEMAT.

5.1. La biomasa como fuente de energía

En el campo energético, se entiende por biomasa cualquier materia que haya tenido su origen inmediato en un proceso biológico. Esto incluye los materiales lignocelulósicos, tales como residuos agrícolas y cultivos energéticos, tanto herbáceos como leñosos, residuos forestales y de industrias de la madera, los efluentes y residuos agroalimentarios, residuos ganaderos, fracciones orgánicas de residuos municipales o domésticos y lodos de depuradora de aguas residuales.

La biomasa se puede clasificar en función de distintos conceptos:

-Según su origen:

- Biomasa natural, producida en ecosistemas naturales sin la intervención humana.
- Biomasa residual, en términos generales se considera residuo a aquellos materiales generados en las actividades humanas o animal que no han alcanzado, en el contexto en que son generados, ningún valor económico y son susceptibles de ser valorizados o eliminados. No obstante, el uso energético puede hacer considerar estos residuos como subproductos.
- Biomasa producida: procedente de cultivos energéticos, que son cultivos específicos dedicados exclusivamente a la producción de biomasa para la generación de energía, utilizando especies seleccionadas, inicialmente, en base a la cantidad de producción.
- Biomasa procedente de excedentes agrícolas, cantidad sin valor comercial en el mercado alimentario y que podría utilizarse en el sector energético.

-Según su naturaleza (forma hidratos de carbono):

- Biomasa lignocelulósica: cuando predominan las celulosas y la lignina. Ejemplo residuos agrícolas y forestales.
- Biomasa amilácea: los hidratos de carbono que predominan se encuentran en forma de polisacáridos de reserva (almidón o inulina). Ejemplo semillas y tubérculos.

¹⁶ CEDER-CIEMAT

- Biomasa azucarada: su principal componente hidrocarbonado está constituido por monosacáridos o disacáridos. Ejemplo la caña de azúcar y la remolacha azucarera.
- Biomasa oleaginosa: presentan altos contenidos en aceite. Ejemplo girasol y colza.
- Otras: plantas que tienen hidrocarburos y esteroides.

- Según su aplicación energética:

- Biomasa lignocelulósica: residuos forestales, agrícolas y de sus industrias y, los cultivos energéticos. Se suelen aprovechar mediante transformación termoquímica.
- Biomasa residual húmeda o fermentable: residuos ganaderos, agroindustriales húmedos y aguas residuales. Su humedad suele superar el 60% B.H. y normalmente se someten a digestión anaerobia para extraer parte de su contenido energético.

La biomasa residual con potencial de uso se puede clasificar de la siguiente forma:

- Residuos Agroforestales, que son residuos primarios de las explotaciones que corresponden con:
 - Agrícolas: pajas, tallos, zuros, cascarillas....., procedentes de cultivos herbáceos tales como cereales, hortícolas y cultivos industriales (oleaginosos, tabaco....) y, de cultivos leñosos como las podas de frutales y levantamiento de cultivo (plantas viejas, enfermas, tocones,...).
 - Forestales: procedentes de labores silvícolas y corta de pies maderables.

También se pueden considerar como biomasa residual otros productos tales como residuos urbanos, lodos de aguas residuales urbanas y residuos ganaderos (estiércol, purines, etc.). Estos residuos pueden ser considerados un problema medioambiental más que como una fuente de energía.

- Residuos Industriales: residuos secundarios procedentes de industrias de transformación de los productos agrícolas o forestales
 - Agroalimentarios: residuos procedentes de industrias agroalimentarias que, en muchas ocasiones, son muy adecuados para alimentación animal pero también pueden alcanzar cifras considerables y constituir un verdadero problema para la industria, hecho que se podrá solventar con su aprovechamiento energético. Como ejemplo cabe citar las industrias extractoras de azúcar, del café, del arroz, etc.
 - Forestales o afines: residuos procedentes de la primera transformación de la madera (aserraderos mecánicos, fabricación de tableros de partículas y fibras, desenrollo celulosa, etc.), tales como costeros, cortezas, serrines, virutas, etc...) y, de segunda transformación de la madera (carpinterías y

objetos de madera, muebles cajas y palets para embalajes, papel, etc.) tales como recortes, tacos, viruta, polvos de lijado, etc.).

En la Tabla 4.1 se indican los residuos más significativos de industrias agroalimentarias y el proceso que los genera en Cuba.

Tabla 4.1: Residuos procedentes de las principales industrias agroalimentarias en Cuba, indicando el proceso del que proceden

PROCESO DE GENERACIÓN	RESIDUO
Preparación del arroz	Cascarilla
Fabricación del azúcar y alcohol	Bagazos Cachaza Vinazas Melazas Lodos depuradora
Fabricación de conservas y jugos vegetales	Residuos frescos Huesos, Semillas Pielas
Elaboración de cerveza y malta	Bagazo Lodos depuradora
Industrias del café	Cascarilla Pulpa Marros
Extracción aceites de semillas	Cáscaras Tortas

Es necesario realizar evaluaciones del potencial de los recursos biomásicos, lo cual requiere la realización de estudios pormenorizados de cada ámbito o sector.

5.2 Metodología de evaluación

Para realizar un aprovechamiento energético de recursos de la biomasa, además de conocer el tipo y sus características químico-energéticas, es primordial saber la cantidad disponible y utilizable de manera sostenible, con la mayor fiabilidad posible. Se pueden realizar estimaciones en zonas amplias, como un país o región a fin de realizar un inventario que permita una planificación energética para la localización previa de emplazamientos, o en una zona más concreta y en un periodo de tiempo similar a la vida útil de la instalación que se propone, en el caso de proyectos concretos. En la evaluación se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Recursos potenciales: todos los existentes sin considerar su posibilidad real de explotación o los aprovechamientos que ya se hagan actualmente.
- Recursos disponibles: los que en el momento no se están utilizando para ningún otro fin. Gran parte de los residuos potenciales existentes no se pueden considerar disponibles para ser utilizados para energía, dado que se autoconsumen en la propia explotación (alimentación y camas de ganado), se comercializan fuera del sector o se pierde durante el manejo.
- Recursos utilizables/recolectables: los que pueden utilizarse con las tecnologías existentes y sin otro valor que el puramente energético.
- Recursos económicamente utilizables/recolectables: aquellos disponibles que son técnicamente utilizables/recolectables y que su recolección y transporte es económicamente viable (no superan un valor umbral de costes fijado de antemano).

Se puede considerar que entre los de naturaleza herbácea se encuentran recursos residuales y excedentes de los que se destinan a otros usos, y que entre los leñosos prácticamente todos son residuales.

En resumen, con la evaluación se debe llegar a conocer cuanta biomasa existe, si se puede utilizar, si de ninguna manera es utilizable, si ya se está utilizando, cuánto cuesta utilizarla en términos económicos, energéticos y medioambientales, etc.

Del tipo de biomasa dependerá el método de evaluación a seguir y los pretratamientos necesarios antes de su transformación energética, tales como secado, reducción granulométrica, densificación, logística de suministro, comportamiento en procesos de transformación, contenido energético etc.

La fiabilidad de los resultados de las evaluaciones realizadas, dependerán en gran medida de la veracidad de los datos de partida disponibles y la metodología seguida. De aquí, la importancia de realizar comprobaciones en campo de los datos obtenidos en inventarios. Además de la cantidad, también interesa tener en cuenta la producción sostenida en el tiempo, impacto ambiental mínimo, probabilidad de incidencias, desastres naturales, tendencia de la oferta y la demanda, etc.

Para estimar los recursos procedentes de campo, se debe partir de datos disponibles en centros oficiales de los distintos países tales como la base de datos sobre la cobertura y uso del territorio mediante la información del mapa de usos del suelo como, por ejemplo, CORINE-Land Cover (Coordination of Information on the Environment), o inventarios más o menos

informatizados de centros oficiales (mapas forestales, de cultivos y aprovechamientos, de usos del suelo, estadísticas de cortas de madera, leña, actuaciones selvícolas, etc).

El nivel de detalle necesario estará en función de la fiabilidad y detalle en que se pueda realizar la evaluación.

Las aplicaciones modernas utilizan técnicas de teledetección basadas en la producción de proyecciones de alta resolución de imágenes tomadas de satélites o de vuelos específicos. Estas imágenes sirven como herramientas para componer mapas de uso de la tierra, clasificaciones de vegetación y otras representaciones. Ejemplos del uso de estas herramientas se pueden encontrar en la literatura, tales como los sensores activos LiDAR, que permiten generar información sobre la cobertura arbórea y de matorral, la altura y estratificación de la vegetación (Næsset, 2008; Wulder et al., 2012). La incorporación de sensores LiDAR en los vuelos de Ortofotografía Aérea, con una densidad media de 0,5 puntos/m², ofrecen una información de gran valor para el inventario forestal como cantidad de biomasa y el crecimiento medio anual de dicha biomasa. Además un adecuado procesado de la información LiDAR nos permite cuantificar variables forestales de gran utilidad para la planificación y gestión de la biomasa aérea y de matorral, volúmenes de madera, alturas medias y dominantes de la vegetación, diámetros medios de los árboles o diferentes índices de competencia forestal, así como nos proporcionan una información muy detallada de la estructura de la vegetación. No obstante, dicen muy poco de la composición específica de cada cubierta. Para identificar la composición es necesario apoyarse en otras fuentes de información disponible como puede ser la misma ortofotografía o la información de Mapas Forestales e inventarios. Hay que tener en cuenta que la aplicación de la teledetección al cálculo de las reservas de biomasa requiere un trabajo de campo complementario, de modo que se puedan obtener valores precisos para elaborar las relaciones entre el peso de la biomasa y los valores de reflectancia.

Es necesario disponer de datos del medio geográfico y recursos naturales, así como de una leyenda de categorías de ocupación del suelo para abordar estudios del medio geográfico y los recursos naturales con técnicas de teledetección. Generalmente estos estudios se basan en la elaboración de un documento cartográfico o mapa, que refleja la zonificación espacial de ciertas categorías de coberturas terrestres y sus principales características. Se analizan los factores que determinan las categorías susceptibles de ser consideradas o desestimadas, así como la escala y la complejidad geográfica del territorio. Existen estudios en curso que toman como referencia

base de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea (CORINE-Land Cover para Europa).

5.2.1 Biomasa agrícola

Concretando para el caso de los residuos agrícolas, se considera residuo a la parte de las plantas cultivadas que es preciso separar para obtener el fruto y que es necesario o conveniente recoger para facilitar el cultivo posterior.

Aunque como biomasa agrícola se incluyen los cultivos energéticos, los residuos agrícolas y los excedentes de lo que se destina a otros usos, el presente documento, se centrará en la metodología a seguir para evaluar la biomasa residual (información complementaria en Ciria y Barro, 2016).

Los residuos agrícolas presentan como característica fundamental una gran heterogeneidad en cuanto a naturaleza (herbácea y leñosa), humedad, forma, tamaño y composición, baja densidad, dispersión espacial, estacionalidad, presencia de productos indeseables, dificultad para el transporte y almacenamiento por ser material susceptible de ataques biológicos (pudrición, fermentación, etc) repercutiendo esto, enormemente, en su utilización como combustible.

Se debe partir de datos tales como: tipos de cultivo, superficies por cada cultivo, producciones y densidades de plantación sobre todo para cultivos leñosos.

Los datos utilizados en la mayoría de los casos deberán ser valores medios referidos a las últimas cosechas en un número lo suficientemente amplio que garantice su representatividad.

Se deben considerar por separado los residuos procedentes de cultivos herbáceos y los de cultivos leñosos, dado que su naturaleza condiciona los pretratamientos necesarios en cada caso antes de ser utilizados en un proceso térmico.

5.2.1.1. Residuos agrícolas herbáceos

Una de las formas de estimar la cantidad de residuo es tomar como base la producción principal del cultivo y calcular el residuo en función de la producción, conociendo la relación

cantidad de residuo/cantidad de producción. De esta forma: Potencial de residuos de un cultivo (kg) = Producción principal (kg) x (kg de residuo/kg de producción).

La producción de estos residuos varía significativamente de unos años a otros debido a la influencia de determinados factores en el cultivo agrícola, algunos no controlables, como es la climatología. Dentro de cada cultivo puede afectar incluso la variedad utilizada y el sistema de cultivo (secano o regadío). También es sumamente importante conocer las pérdidas de cada residuo durante la recogida del mismo pues, en algunos casos, puede llegar a ser de un 50%.

Igualmente, interesa conocer los usos alternativos que tiene el recurso que se desea evaluar. A modo de idea y como ejemplo podría citarse el destinado para alimentación animal o camas para el ganado. Debido a esto, la cantidad de residuo disponible varía también de unas zonas geográficas a otras llegando incluso a ser cero en algunos casos.

En general, los residuos herbáceos tienen producción estacional siendo necesaria la retirada del mismo de las fincas en corto período de tiempo. La recogida de los residuos exige disponer de mucha maquinaria y personal para realizar un trabajo temporal lo cual repercute negativamente en el coste de recogida. Por otra parte queda por definir maquinaria adecuada para la recogida de algunos residuos ya que no resulta adecuada la maquinaria convencional existente.

El almacenamiento de la biomasa se puede realizar en pilas diseminadas próximas a la zona de producción en lugares con buena accesibilidad y se llevará a cabo su transporte al punto de consumo progresivamente durante todo el año. El transporte se suele realizar en vehículos de gran capacidad (ejemplo tráiler con remolque).

Dentro de residuos agrícolas de naturaleza herbácea, se contemplan los residuos procedentes de cultivos de invernaderos los cuales existen prácticamente durante todo el año. El residuo en bruto generado en los invernaderos contiene proporciones considerables de tierra, plásticos y alambres que pueden suponer el 50% del peso total y que previo a su utilización energética, es conveniente eliminar. El residuo orgánico, podría ser empacado una vez se haya reducido su humedad que, inicialmente, es de aproximadamente un 40% (b.h.) (López y otros, 2001). Por tanto, es aconsejable procesar estos residuos en lugares próximos a su origen para eliminar los materiales no orgánicos (estimados en un 50%) y secar el residuo aprovechable.

5.2.1.2. Residuos agrícolas leñosos

Al igual que para el caso de los residuos agrícolas herbáceos se puede realizar una estimación de residuos en base a la producción principal (Potencial de residuos de un cultivo (kg) = Producción principal (kg) x (kg de residuo/kg de producción)).

Otra posibilidad consiste en realizar la evaluación en función de la superficie destinada al cultivo, cantidad de residuo/superficie (ha) o cantidad de residuo/árbol, aunque en estos casos hay que considerar una serie de inconvenientes que no siempre se pueden solventar dado la no disponibilidad de datos a gran escala o la variabilidad de los mismos incluso para un misma localización como, por ejemplo, especie, variedad, edad, densidad de plantación, etc.

Actualmente, se puede decir, que los residuos agrícolas leñosos no tienen ningún aprovechamiento con valor de mercado pero conllevan un coste inevitable dado la necesidad de retirarlos.

Se debe tener en cuenta la frecuencia de poda. Por una parte, cuando se realiza la poda de las especies leñosas los residuos se pueden agrupar en pequeñas pilas diseminadas por la superficie de las fincas, las cuales han de ser retiradas al objeto de facilitar el laboreo del terreno. Por otra parte, se puede realizar el astillado o empacado de las ramas dentro de las fincas, para lo cual existe maquinaria de diversos tipos que puede realizar esta tarea. Actualmente, las máquinas astilladoras están más desarrolladas que las empacadoras para este tipo de residuos. Sin embargo, el desarrollo de nuevos prototipos de máquinas empacadoras de biomasa leñosa puede hacer interesante su uso por motivos de logística.

El almacenamiento de la astilla, a diferencia de la paja, conviene realizarlo en lugares habilitados a tal efecto al objeto de poder controlar y evitar la ignición de las pilas causadas por fenómenos de fermentación interna que elevan la temperatura de la biomasa. Así mismo, la gestión de las astillas debe favorecer el secado natural más rápido. Por este motivo puede ser recomendable disponer de un parque centralizado cercano a la central para este tipo de materiales.

5.2.2 Biomasa forestal

Según la FAO, se consideran residuos forestales aquellos materiales producidos como consecuencia de la explotación de la madera o como consecuencia de operaciones silvícolas que se realizan para aumentar la calidad de los montes. Generalmente consisten en ramas, riberones, arbustos, vegetación de sotobosque y, en general, madera no explotada para usos convencionales tales como, pulpa, producción de tableros, etc. En consecuencia, se obtienen diferentes productos en función de la especie, ciclo, tratamiento, etc. Por otra parte, se incluyen zonas pobladas de matorrales y arbustos de diferentes especies que, en la mayoría de los países cubren grandes extensiones de tierra y que si fueran cosechadas podrían ser una fuente importante de biomasa.

En primer lugar, es necesario conocer las características de las masas forestales, operaciones silvícolas necesarias (claras y clareos, poda, cortas finales, etc.) para cada especie así como periodicidad de las mismas, sobre todo para las principales especies madereras, ya que la silvicultura se basará en la rotación de las especies principales.

La cartografía temática suele ser suministrada por los servicios forestales nacionales. Dicha cartografía muestra diferentes clasificaciones del uso de la tierra, incluyendo descripción botánica del monte. También se necesitan mapas topográficos básicos que indiquen características geográficas tales como ríos, lagos, curvas de nivel, etc., y es de gran utilidad conocer las vías de acceso y otras infraestructuras para evaluar factores como la facilidad de acceso a las masas forestales.

Las estimaciones de la biomasa sobre el suelo pueden realizarse por métodos directos o indirectos. El enfoque directo consiste en pesar la biomasa en una serie de parcelas y extrapolar los resultados a áreas más grandes. Es un procedimiento destructivo y muy laborioso, a menos que se pueda realizar en conjunto con tareas silvícolas. El método indirecto utiliza ecuaciones cuyos parámetros predictivos se obtienen de los inventarios forestales.

Las ecuaciones de la biomasa se desarrollan correlacionando el peso de la biomasa de la corona u otras partes no comerciables del árbol (corteza, raíces, etc.) con otros parámetros del árbol tales como el diámetro a la altura del pecho, volúmenes del tronco o altura del árbol. En la mayoría de los casos, se deben aplicar métodos destructivos para obtener datos de peso de los

árboles. Para que una muestra sea representativa, debe formarse a partir de un número suficiente de árboles de cada clase de diámetro.

Se deben obtener ecuaciones distintas para diferentes especies arbóreas. El índice del sitio y la densidad de árboles son también factores que determinan un mayor ajuste de la ecuación. Las ecuaciones de biomasa más utilizadas han sido las alométricas y polinomiales. Algunos de ellos se han aplicado con una precisión aceptable (Araújo 1999, Esteban 2008, Keller 2001, Ter-Mikaelian 1997, Zianis 2004). En general, los autores concluyen que la aplicabilidad de las ecuaciones de biomasa está restringida a un nivel regional. Las extrapolaciones realizadas para zonas situadas lejos de la fuente de datos están sujetas a graves errores. A continuación se enumeran algunas expresiones típicas (Esteban, 2010):

$$DB = aDb$$

$$DB = aDbHc$$

$$DB = a + bD + cD^2$$

Donde DB es el peso seco de la biomasa, D es el diámetro a la altura del pecho, H altura total del árbol y a, b, y c son coeficientes de regresión.

En resumen, un inventario debería recoger, como mínimo, producción/ha y año o en un intervalo de tiempo, probabilidad de incidencias (incendios, desastres naturales), tendencia de la oferta y la demanda, etc. Además, hay que considerar superficies ocupadas especie, edad o estado de las masas, densidad, régimen de aprovechamiento, orografía media, régimen de propiedad, densidad viaria, etc. Todo esto, condiciona en gran medida el aprovechamiento de los residuos totales evaluados y es importante tener claros los objetivos y la base territorial afectada por la evaluación.

En caso de montes no arbolados es muy difícil estimar la superficie cubierta por matorrales, ya que la dinámica de estos ecosistemas es muy sensible y, en particular, especialmente influenciada por el fuego. Esta dificultad es más pronunciada en los países en los que el efecto de los incendios forestales y su frecuencia son mayores. Las zonas de matorral suelen encontrarse en las zonas de montaña y en las tierras marginales en las que se ha abandonado el cultivo.

Se puede contar con cosecha de matorral, conociendo superficies clasificadas por especies, espesura de las masas y productividad media de cada especie. Estas biomasa tiene etapas de colonización muy inestables a corto y medio plazo debido a invasión paulatina por especies arbóreas, son susceptibles de repoblación forestal o de implantación de pastizales, son fácilmente incendiables (especies muy inflamables) y entran en competencia con la ganadería extensiva (si existe), por lo que es muy difícil dar previsiones de producción ni siquiera a corto plazo.

Por otra parte, puede decirse que el problema que presenta de forma general la biomasa forestal es la necesaria gestión de la extracción y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente y condiciona en gran medida el aprovechamiento de los residuos totales evaluados. Es importante tener claros los objetivos y la base territorial afectada por la evaluación.

5.2.3 Residuos industriales

5.2.3.1 Residuos Agroalimentarios

En este tipo de industrias la cantidad de residuo se suele estimar en función del producto comercializado.

Se pueden considerar la industria del arroz, la industria azucarera, del café, conserveras tales como las destinadas a tomate, espárragos, pimientos, etc.. Por ejemplo, la industria del tomate puede generar del 14-15 % de residuo respecto al producto comercializado. Para el caso de la industria del café solamente se utiliza el 9,5% del peso del fruto en la preparación de la bebida, el 90,5% queda en forma de residuo, de los que los más abundantes son la pulpa fresca y el mucílago con 394 y 216 gr/kg de café cereza procesado respectivamente (Calle, 1977).

Muchos de estos residuos de industrias agroalimentarias también se pueden utilizar en el sector ganadero.

5.2.3.2 Forestales o afines

La estimación de biomasa procedente de estas industrias, se puede realizar mediante la aplicación de índices que relacionen la cantidad de residuos con la de otros elementos del proceso como la madera en rollo utilizada, los productos elaborados o el nº de empleados.

En industrias de primera transformación de la madera (de aserrado, tableros de madera, de fibra o de partículas, contrachapado, etc.) así como de fabricación de pasta de celulosa, es habitual utilizar índices que relacionen el residuo generado con el producto obtenido. Como dato orientativo, la industria de primera transformación de la madera produce entre 30 y 35 % de residuo por cada m³ procesado

Para los residuos del sector de segunda transformación de la madera (recortes, polvos de lijado, viruta, serrín, etc.) no es posible usar índices del tipo anteriormente citado, debido a que no se referencia el producto obtenido en unidades de peso o volumen. En este caso es habitual emplear índices referidos a unidades productivas tales como n° de empleados, potencia instalada, etc. Cabe citar valores medios estimados de 1-5 t MS/empleado y año para industrias del mueble y de 30-40 t MS/puesto de trabajo y año en carpinterías.

5.3 Situación actual y perspectiva de la biomasa en Cuba

En el plano nacional de Cuba, Ponvert – Delisles, 2003 indicó que la actividad de ocupación del suelo, se rige técnica y metodológicamente por el “Nomenclador único de los Usos de la Tierra”, cuya principal problemática es la inclusión en el mismo de clases de uso y ocupación del suelo, lo cual origina algunas confusiones conceptuales. De aquí que se diseñara y conceptualizara una leyenda, apoyada en la filosofía del proyecto internacional CARIGEOBASE (Braunstein, 1997) y en los conceptos y definiciones del Uso de la Tierra en Cuba, así como en las Clasificaciones de las Formaciones Vegetales de Cuba (Borhidi y Muñiz, 1979; Capote y Berazaín, 1984).

En la Figura 4.1 se indica el uso del suelo y vegetación de Cuba y en la Tabla 4.2 la superficie dedicada a las principales masas vegetales.

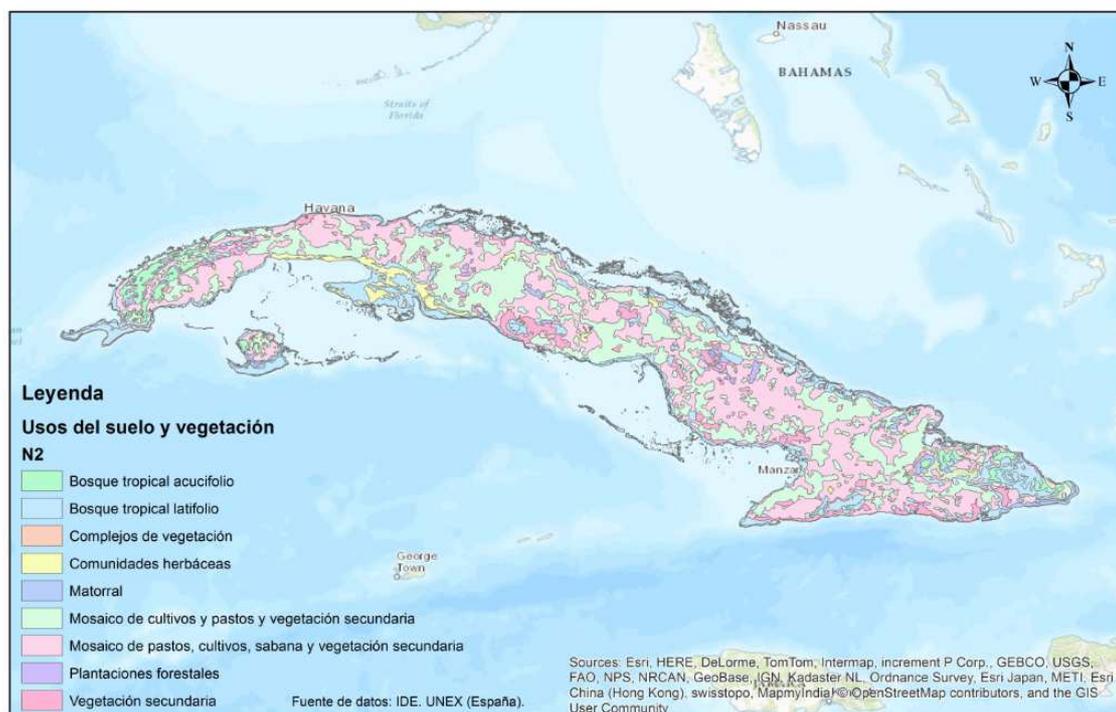


Figura 4.1: Mapa de usos del suelo y vegetación de CUBA (Nivel 2)

Tabla 4.2: Distribución de la superficie de Cuba para las principales coberturas vegetales

Concepto	Miles ha
Bosque tropical acucifolio	375,1
Bosque tropical latifolio	5223,7
Mosaico cultivos y pastos	4184,6
Matorral	210,4
Vegetación natural	295,8

La FAO recomienda hacer un censo agrícola cada 10 años y Cuba es uno de los países de los cuales la FAO no tiene información sobre su censo para el período 2006 a 2015.

Para la información que se presenta a continuación se ha tomado como fuente el Anuario Estadístico de Cuba 2014 publicado por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) de la República de Cuba, (ONEI, 2015). Se consideran los principales indicadores que caracterizan la actividad de la agricultura no cañera y forestal los cuales quedan resumidos a continuación.

Superficie total: Superficie asignada a las economías (unidades) agropecuarias, silvícolas y otras entidades estatales y no estatales comprendidas en el territorio nacional. Según la ONEI

(2015) se determina en base a los datos de los materiales cartográficos y de los documentos de compraventa y de usufructos de tierras, previstos en las leyes del país.

Superficie agrícola: Es la dedicada a la agricultura en cualquiera de las formas de producción, pudiendo estar sembrada de algún cultivo, tanto temporal como permanente, dedicada a viveros y semilleros, a pastos naturales, así como la que no estando sembrada es apta para ser cultivada. De esta forma, comprende la superficie cultivada y la no cultivada.

- Superficie cultivada: Es la tierra dedicada a un cultivo, considerándose el área sembrada en preparación, en descanso o en espera de la preparación para la siembra, incluyéndose en la misma los caminos, guardarrayas, canales de riego, drenaje y otros que constituyen áreas imprescindibles para su explotación.
- Superficie no agrícola: Comprende la superficie forestal y otras tierras no agrícolas ocupadas por asentamientos, viales, instalaciones, superficie no apta y superficie acuosa, entre otras.
- Superficie existente sembrada: Es la superficie sembrada de cultivos temporales y permanentes que se encuentra en proceso de desarrollo o producción.
- Superficie cosechada: En el caso de cultivos temporales generalmente se denomina superficie cosechada aquella en que se ha recolectado el fruto agrícola o parte aprovechable de la planta.
- Superficie existente en producción: Corresponde a la superficie de cultivos permanentes en la cual el cultivo ya ha alcanzado la edad de fructificación y ha dado frutos aprovechables, como mínimo una vez. Cuando en un año determinado no se obtiene producción por falta de agua, a consecuencia de plagas o cualquier otra causa, se considera dentro de esta categoría el área afectada.
- Producción agrícola: Son los productos cosechados en su forma natural, antes de toda elaboración ulterior, independientemente del fin a que se destinen. Se incluye la producción con destino para la venta, el autoconsumo y el insumo productivo, entre otros.
- Total plantado: Se refiere a las plantaciones forestales realizadas con el fin de establecer el bosque artificialmente. Cuenta con diferentes métodos a utilizar según las condiciones del suelo, las especies y el objetivo de la plantación.
- Plantaciones energéticas: Son aquellas que se siembran con el objetivo de crear bosques para la extracción de madera para combustible.

Según la ONEI, Cuba posee una superficie total de 10988,4 miles de hectáreas. La superficie agrícola es de 6278,9 miles de hectáreas y la superficie no agrícola de 4709,5 miles de hectáreas. Se estima que un 66 % de la superficie no agrícola está destinada al área forestal (alrededor de 3108 miles de ha) y existen unas 226 miles de hectáreas de tierra sobre las cuales

no se informa su destino y que están en función de la variación de las áreas constructivas y acuosas.

La superficie agrícola se divide en superficie cultivada (2668,7 miles de ha) y no cultivada (3610,2 miles de ha). En la Tabla 4.3 se indica la distribución de estas superficies por provincias. La mayor parte de superficie agrícola se encuentra en la zona central y oriental, destacando Camagüey con 1037,2 miles de hectáreas.

Tabla 4.3: Distribución de la tierra del país y su utilización por provincias en junio de 2014 (ONEI, 2015)

Concepto	Superficie (miles de hectáreas)					
	Total	Agrícola				No agrícola
		Total	Cultivada	No cultivada		
				Total	Ociosa	
Cuba	10988,4	6278,9	2668,7	3610,2	962,1	4709,5
Zona occidental:						
Pinar del Río	888,3	359,8	193,9	165,9	48,4	528,5
Artemisa	400,3	244,2	112,3	131,9	22,6	156,2
La Habana	72,8	28,9	18,4	10,5	0,3	43,9
Mayabeque	374,4	240,1	129,3	110,8	12,9	134,3
Matanzas	1179,2	487,9	196,7	291,2	39,4	691,3
Zona central:						
Villa Clara	841,2	592,8	263,4	329,5	68,2	248,3
Cienfuegos	418,9	296,9	124,2	172,7	48,1	122,0
Sancti Spiritus	677,7	440,8	180,0	260,7	40,6	237,0
Ciego de Ávila	697,2	434,5	194,4	240,1	100,7	262,6
Camagüey	1538,6	1037,2	244,9	792,3	323,9	501,5
Zona oriental:						
Las Tunas	659,3	463,5	173,8	289,7	124,7	195,8
Holguín	921,6	486,3	245,6	240,7	21,8	435,3
Granma	837,4	512,3	250,1	262,2	61,9	325,1
Santiago de Cuba	622,8	360,1	213,4	146,7	14	362,7
Guantánamo	616,8	239,9	118,5	121,4	15,8	376,9
Isla de la Juventud	241,9	53,9	9,9	44	18,6	188,0

Fuente: Ministerio de Agricultura (MINAG)

El área cultivada se divide en cultivos permanentes (plátanos, cítricos, frutales, cacao y henequén) y temporales (arroz, tabaco y cultivos varios). El área no cultivada comprende pastos y tierra ociosa. El resto del área agrícola está destinada a pastos, viveros y semilleros, área de posible roturación y tierra ociosa. Gran parte de esta área está clasificada como pastos (en 2007 eran 2,398 miles ha), sin embargo el número de cabezas de ganado está disminuyendo

sistemáticamente entre otras causas, por falta de agua y pastos y estas zonas se están invadiendo de matorral, principalmente de marabú.

Muchas son las áreas, destinadas a pastos, forrajes, cultivos varios y otros destinos productivos, que han sido afectadas por el marabú. El marabú (*Dichrostachys Cinerea* (L.) Wight & Arn. ssp.) es un arbusto o árbol pequeño de la familia de las leguminosas, se introdujo en Cuba alrededor de 1840 y se convirtió en planta invasora. Ya en 1932 se estimó que había cubierto 442860 hectáreas de suelo (Pérez, 2002). El mismo autor señala que, en 2002, el marabú en Cuba invade 847477 hectáreas de pastos, de las cuales, 188552 con grado muy intenso, constituyendo la plaga más importante del cultivo. En otras referencias (Diario de Cuba, 2015) se cita que 2007 se calculó que el marabú ocupaba 1,3 millones de hectáreas, cerca del 20% de la tierra cultivable en Cuba, lo cual daría idea de su expansión.

La biomasa cañera constituye aproximadamente la mitad de la superficie cultivada en el período considerado de datos disponibles (2009-2014), no obstante la explotación de caña de azúcar ha descendido mucho en las últimas décadas, de forma que la producción de bagazo de caña disminuyó un 80% entre el año 1991 y el año 2014 según la ONEI. Se cerraron numerosas centrales azucareras que no se consideraban eficientes, esto ha permitido aumentar las tierras cultivadas en diversificación de cultivos.

La superficie media según datos de 6 años (2009-2014) de cultivos permanentes y temporales de la agricultura no cañera se indica en la Tabla 4.4 y Tabla 4.5. Entre los cultivos permanentes se incluyen plátanos, cítricos, frutales, cacao y henequén, y entre los temporales cereales (arroz y maíz), viandas (tubérculos y raíces y plátanos y tabaco, etc.).

Tabla 4.4: Superficie media existente (periodo 2009-2014) sembrada de cultivos permanentes seleccionados de la agricultura no cañera.

CULTIVO	Superficie
	(Miles ha)
	Media
Plátano	121,9
Cítricos	33,1
Otras frutas	99,9
Cacao	6,3
Henequén	1,7

Tabla 4.5: Superficie media existente (periodo 2009-2014) cosechada y en producción de cultivos seleccionados de la agricultura no cañera.

CULTIVO	Superficie
	(Miles ha)
	Media
Viandas	311,1
Tubérculos y raíces	220,8
Plátano	90,2
Hortalizas	224,3
Cereales	377,1
Arroz cáscara húmedo	195,4
Maíz	181,8
Leguminosas (frijoles)	126,7
Tabaco	16,1
Cítricos	31,7
Otras frutas	86,1
Mango	30,9
Guayaba	10,3
Fruta bomba	6,3
Cacao	4,7

Tabla 4.6: Producción agrícola por cultivos seleccionados de la agricultura no cañera.

CULTIVO	Producción
	t/año
	Media
Viandas	2308176
Tubérculos y raíces	1538161
Plátano	770016
Hortalizas	2317883
Cereales	945360
Arroz cáscara húmedo	579167
Maíz	366193
Leguminosas (frijoles)	118831
Tabaco	21483
Cítricos	249152
Otras frutas	850235
Mango	234607
Guayaba	108339
Fruta bomba	147056
Cacao	1708

La producción media agrícola anual de los cultivos temporales citados en la Tabla 4.5 se indica en Tabla 4.6. Se han considerado los datos de 6 años (2009-2014) según el Anuario

Estadístico de la ONEI (2015). Estos datos pueden servir de base para estimar la biomasa residual del cultivo de que proceden.

Respecto a zonas forestales, en la Tabla 4.7 se muestra la superficie plantada con destino forestal con el fin de establecer el bosque artificialmente. Se han realizado con distintos métodos en función del suelo, especie y objeto de la plantación incluyendo plantaciones de frutales con destino forestal, plantaciones melíferas (especies forestales y frutales con destino forestal productoras de néctar) y aquellas que se siembran con la finalidad de crear bosques para la extracción de madera para combustible llamadas plantaciones energéticas (media anual 0.7 Mha).

Tabla 4.7: Plantaciones forestales realizadas.

CONCEPTO	Superficie Mha Media
Superficie plantada	41,4
Plantaciones energéticas	0,7

Fuente: Dirección Forestal del Ministerio de la agricultura (MINAG)

Se puede contar además con cosecha de matorral, conociendo superficies clasificadas por especies, espesura de las masas y productividad media de cada especie, pero esto es de difícil previsión e, incluso a corto plazo, y difícil su evaluación.

A este respecto, cabe citar que en Cuba se cuenta con el marabú. Estimaciones de producción realizadas por el Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (Bravo et al, 2015) indican valores de entre 12,58 t/ha y 410,69 t/ha de biomasa aérea total verde con corteza para diámetros de planta de entre 1,8 y 14,57 cm respectivamente. Considerando solamente la biomasa verde del fuste, esta supone entre un 75 y 14% de la total para diámetros de 1,8 y 14,57 cm respectivamente, demostrándose su condición de arbusto.

Se trata de una especie indeseable e invasora que perjudica ecosistemas naturales o seminaturales, que, en general, alcanza alturas máximas de 4 a 5 m y en condiciones óptimas de suelo puede llegar a 10 m de altura y hasta 18 cm de diámetro. Sus troncos son bastante tortuosos, con numerosas ramificaciones gruesas y finas, muy espinosas que suelen formar entramados impenetrables que, unido a las espinas gruesas y punzantes que presenta, hace difícil

su control. Es una especie muy heliófila. Crece en altitudes desde 0 a 1500 m sobre el nivel del mar (msnm) y en Cuba sobrepasa los 800 msnm siendo altamente invasora en sitios abiertos y soleados. Tiene un amplio rango ecológico en cuanto a precipitaciones, que pueden ser desde menores que 800 mm hasta mayores que 2000 mm, sin embargo no tolera terrenos inundados. Crece achaparrada en sitios secos formando matorrales densos y admite cualquier tipo de suelo en cuanto a textura y pH, desde ligeros arenosos hasta arcillosos pesados, desde ácidos hasta calizos y ultrabásicos.

Una vez establecida se expande y resulta muy difícil de erradicar porque sus largas raíces son capaces de originar numerosos rebrotes. Su expansión y regeneración puede deberse a varias causas. Por una parte, el ganado consume sus legumbres y disemina sus semillas con las deyecciones y, por otra, su corte o quema contribuye a aumentar el número de rebrotes de la raíz.

El uso de herbicidas para su control parece ser efectivo pero muy costoso y contaminante. El control por corte requiere trabajo intensivo y continuo que solo es posible para pequeñas áreas. El control mecánico resulta difícil para troncos con diámetros grandes, y el desbroce afecta al suelo y no impide el rebrote. Al no tolerar el encharcamiento permanente del suelo, la inundación es un método de control en terrenos llanos. No prolifera con sombra por lo que el desarrollo forestal con otras especies altas y frondosas que la cubran, o el desarrollo de cultivos densos controlan el marabú, pero sus raíces proliferan en los márgenes de esas áreas. El control por consumo intensivo del ganado puede ser un complemento del control por otros métodos. La erradicación del marabú resulta tan trabajosa y costosa que muy a menudo las tierras invadidas son abandonadas por los productores.

A pesar de su enorme impacto ambiental negativo en Cuba, el marabú también resulta útil en algunos aspectos. Protege grandes áreas de suelos desprovistos de vegetación natural contra la erosión, sobre todo en las franjas hidrológicas de las cuencas fluviales. Por su impenetrabilidad, resulta positiva como refugio para especies nativas de la fauna afectadas por especies depredadoras introducidas o por la caza furtiva. Es de alguna utilidad como planta apícola. Es fuente de alimento proteico para el ganado, especialmente el ovino-caprino. Su madera es muy dura, duradera, inmune al ataque de hongos e insectos, de alta densidad (1,11-1,23 g/cm³ con 15% de humedad), de textura fina y grano recto, difícil de trabajar, es utilizada para cercas, construcciones rústicas y ebanistería. Se utiliza como leña, que tiene buena combustión, produce brasas duraderas, su poder calórico es de 4567 kcal/kg en materia seca, y

contiene alrededor de un 3% de cenizas; es muy buena para fabricar carbón. En 2013 Cuba exportó 70,200 toneladas de carbón vegetal, principalmente de marabú, a Italia, Canadá, Portugal, España, Francia, Grecia, Alemania, Bélgica e Israel, entre otros países. El marabú en Cuba, por su extensión, puede ser fuente de biomasa para combustible sólido de baja densidad. Se calcula que con maquinaria y el consumo de una tonelada de petróleo pueden cortarse 800 toneladas de biomasa (que equivalen a la energía de 267 a 400 t de petróleo), en 13,43 ha (1 caballería cubana), en un turno de trabajo (Méndez y Ramos, 2004).

La situación actual de la energía en Cuba se caracteriza por una alta dependencia de los combustibles fósiles que compromete la independencia energética y es una fuente importante de contaminación. En 2014, sólo un emblemático 4,3% de la producción energética provenía de fuentes renovables, en concreto 3,5% de biomasa, 0,1% de origen eólico y 0,7% de origen hidráulico.

El aprovechamiento de la biomasa se concentra exclusivamente en los centrales azucareros, en los que urge además una reforma importante para lograr mayor eficiencia. En una producción de un millón de toneladas de azúcar se obtienen unos 2,8 millones de toneladas de bagazo, 3,3 millones de toneladas de residuos de la cosecha, unas 40000 toneladas de cachaza y, si se emplean sus mieles finales, se puede producir unas 90 toneladas de alcohol y como consecuencia unas 1260 toneladas de vinazas. (Valdés - Delgado, 2016).

Entre las industrias de mayor interés en Cuba se ha seleccionado los aserraderos de la industria de transformación de la madera, y los molinos secaderos de la industria del arroz para su evaluación en producción de biomasa disponible.

En las industrias de transformación del cultivo del arroz (molinos secaderos), la cáscara del arroz representa el 22% en peso del grano, por tanto por cada tonelada de arroz que se procesa se generan 220 kg de residuo.

En un aserradero el aprovechamiento medio de la materia prima es del 55%, con lo que se generan en torno a 450 kg de residuo / tonelada de madera procesada. Un aserradero es una industria de transformación de la madera que genera residuos de uso potencial para su aprovechamiento energético: recortes, serrines, virutas, etc. que en la actualidad se desechan sin ningún uso. Hay que tener en cuenta el grado de humedad con que salen de la fábrica los residuos generados, para estimar adecuadamente el potencial de uso.

El potencial de aprovechamiento de estos dos grupos de industrias, se indica en la Tabla 4.8

Tabla 4.8: Potencial de aprovechamiento en algunas instalaciones con residuos agroforestales.

INSTALACION	Pod	Potencial*	Energía
	calorífico		exportable **
	Kg Residuo	MJ/kg	kWh/t
	/t Materia		%
	prima		
Aserradero	450	10,4	260
Molino Secadero	220	14,8	303

*Suponiendo un 70% de eficiencia para usos térmicos y un 20% para electricidad.

** (Energía potencial – Energía de autoconsumo)/energía potencial*100

A partir de Diciembre de 2012 se establece en Cuba una Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía que actualmente está en desarrollo. Así en junio de 2014 fue aprobada por el Consejo de Ministros y la Asamblea Nacional la Política de Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía y su cronograma de implementación. Existe un programa de instalar 2144 MW de nueva potencia eléctrica hasta 2030, lo que significa multiplicar por seis la potencia instalada en 2014 de estas fuentes de energía. El pasado mes de marzo de 2017 se publicó el Decreto-Ley n° 345 aprobado por el Consejo de Estado de la República de Cuba, en el que se establecen las regulaciones para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía en el futuro de la República de Cuba. Entre las fuentes renovables de energía se establece como orden de prioridad para su desarrollo el siguiente:

- a) La biomasa cañera.
- b) La energía solar.
- c) La energía eólica.
- d) La biomasa no cañera con la utilización de recursos forestales, desechos de la industria y otros.
- e) Los residuos agrícolas, pecuarios, industriales y desechos sólidos urbanos para la producción de biogás.
- f) Los recursos hidroenergéticos.
- g) Plantaciones agrícolas para la producción de biocombustibles.
- h) Energía del mar y otras que el desarrollo de la ciencia y la técnica permitan su utilización.

Y en consecuencia se prioriza para su aprovechamiento:

- a) La instalación de bioeléctricas en la industria azucarera con un enfoque energético, integral y flexible.
- b) El montaje de parques eólicos.
- c) La energía hidráulica, con aprovechamiento al máximo de potencialidades.
- d) La ubicación de paneles fotovoltaicos y calentadores solares y
- e) El aprovechamiento de los residuos de cosechas agrícolas y desechos fabriles, pecuarios y urbanos.

Con todo ello se ha llegado a realizar una matriz de producción eléctrica con la distribución de fuentes que muestra la figura 4.2

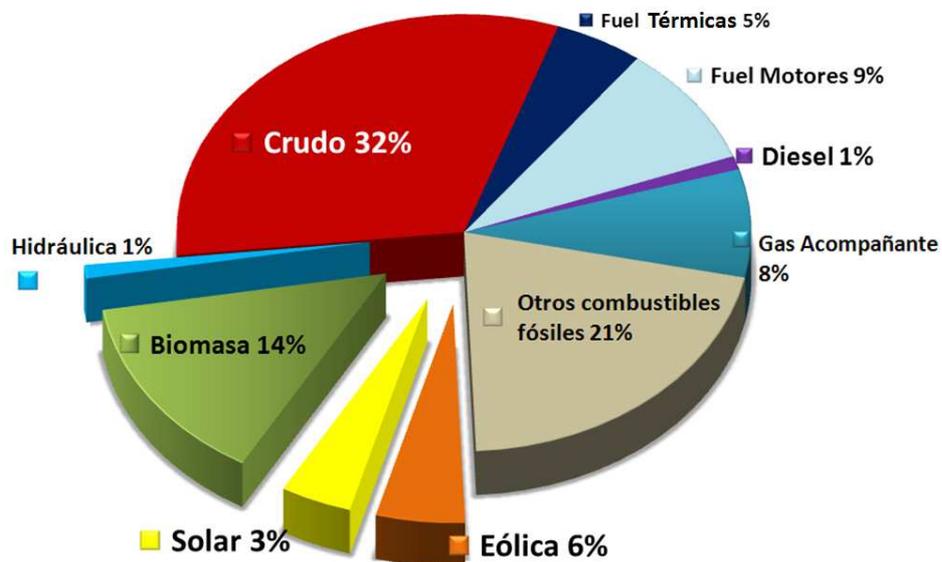


Figura 4.2: Matriz eléctrica planificada para Cuba para 2030.

Las biomasa, no cañeras, se encuentran reflejadas en el cuarto lugar dentro de las prioridades de aprovechamiento de fuentes renovables de energía.

4.4 Barreras en el uso de la biomasa

El uso de la biomasa para aprovechamiento energético, a menudo se encuentra con barreras relacionadas directamente con el propio recurso y su manejo, entre las más importantes cabe citar:

- Dispersión y pequeña escala de las explotaciones.
- Estacionalidad de la producción de biomasa agrícola herbácea y leñosa.
- Grado de mecanización no definido en algunos casos, por lo que sería conveniente la posibilidad de suministro de equipos móviles de picado empaquetado y recogida, de diversas capacidades.
- Altos costes de recolección transporte y almacenamiento.
- Variabilidad en el precio de los residuos con mercado alternativo en función de la disponibilidad del recurso en cada año
- En el caso de la recogida de residuos leñosos falta mucho por definir. Actualmente no se puede decir que existe maquinaria desarrollada y totalmente probada, ni a precios competitivos con el sector en que se quiere utilizar.

Para la implementación de un sistema bioenergético es necesario buscar promotores y localizar iniciativas, y la existencia de un tratamiento fiscal favorable a las inversiones y subvenciones a fondo perdido, y de líneas de financiación específicas y adaptadas a las características de cada proyecto. Para poder conseguir objetivos y analizar la viabilidad económica del aprovechamiento energético de la biomasa podrían basarse en la:

- Realización de proyectos de demostración.
- Difusión de tecnologías de recogida y tratamiento.
- Formación de entidades de carácter local o comarcal para recoger residuos.

En Cuba en concreto, las empresas del sector de las energías renovables, transmiten su inquietud por las barreras con las que se encuentran para la implantación de sistemas energéticos basados en biomasa relacionados con la situación real del país y que se resumen a continuación:

- Falta de conocimiento sistematizado por municipio del potencial energético de las diferentes fuentes de biomasa y de su aprovechamiento energético.
- Débil capacidad para manejar las barreras inter institucionales de los sectores forestales, agropecuarios, eléctrico e industrial.
- Débil marco regulatorio, tanto para los productores independientes de electricidad como sobre las tarifas de venta de electricidad por los generadores, “*net metering*” y normas de calidad de biocombustibles.
- Débil capacidad institucional para servicios técnicos en la cadena tecnológica: diseño de soluciones tecnológicas, construcción y montaje, operación y mantenimiento.

- Complejo proceso de aprobación de las inversiones nacionales y extranjeras.
- Criterios no consolidados para decidir el costo de generación eléctrica viable.
- Escasez de instrumentos de política, en particular fiscales, que estimulen el uso de la biomasa como fuente de energía.

4.5 Referencias

- Araújo, T., Higuchi, N., Andrade, J., 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil, *Forest Ecology and Management*, 117 (1-3), 43-52.
- Borhidi, A., Muñiz, A., 1979. Mapa de vegetación potencial de Cuba. *Acta Botánica Academiæ Scientiarum*, 26 (1-2): 25-53.
- Braunstein, S., 1997. CARIGEOBASE: Una base de datos geográficos de ocupación del suelo, herramienta regional al servicio del medio ambiente y la gestión del espacio. Versión 0-1/114, 61 p.
- Bravo Iglesias C.J., Vidal Corona C.A., Hernández Riquelme A., Peña Hernández Y., Valle López M., 2015. Metodología para el inventario y cuantificación de la biomasa aérea total verde con corteza y por componente de la vegetación de *Dichrostachys cinérea* (L.) Wr. Et Arn. (marabú). INAF. La Habana (Cuba).
- Calle, H., 1977. Subproductos del café. Chinchiná (Colombia). Boletín Técnico N° 6. Cenicafé, 84 p.
- Capote, R., Berazain, R., 1984. Clasificación de las Formaciones Vegetales de Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional*. V (2): 27-75.
- Ciria P., Barro R., 2016. Biomass resource assessment. (Chapter 3), en: Jens Bo Holm-Nielsen, Ehiase Augustine Ehimen (Eds.), *Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining*. Edited by Elsevier, Woodhead Publishing series in energy, pp. 53-83.
- Diario de Cuba, 2015. http://www.diariodecuba.com/cuba/1435700367_15449.html.
- Esteban L.S., Ciria P., Carrasco J., 2008. An assessment of relevant methodological elements and criteria for surveying sustainable agricultural and forestry biomass byproducts for energy purposes. *Rev. BioResource* 3 (3), pp. 910-928.
- FAO: Food and Agriculture Organizations of the United Nations. <http://www.fao.org/home/en/>
- Keller, M., Hurtt, G., 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil. *Forest Ecology and Management* 154 (3), 371-382.
- López J.A., Rodríguez, A., Cervantes, M., Varela, D.L., Martos, J., Rodríguez, A., 2001. Planta de tratamiento integral de residuos sólidos vegetales. *Rev. Terralia* N° 18, 18-25.
- Méndez Santos, I., Ramos Jalil, A., 2004. El marabú: ¿plaga o recurso natural?. *Energía y tú*. N° 27:11-17.
- Næsset, E. & Gobakken, T., 2008. Estimation of above- and below-ground biomass across regions of the boreal forest zone using airborne laser. *Remote Sensing of the Environment* 112 (6), 3079-3090.

ONEI, 2015. Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Anuario Estadístico de Cuba 2014. Capítulo 9.

Pérez, E., 2002. Situación actual y perspectiva del manejo agroecológico de *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight y Arn en Cuba. Revista de protección vegetal Volume 17, Issue 3, 215-216 (ISSN: 1010-2752). <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CU2006101894S>

Ponvert – Delisles D.R., 2003. Leyenda de categorías de ocupación del suelo para Cuba. Una herramienta imprescindible para abordar la cartografía de las coberturas terrestres por teledetección. Revista de teledetección 19:11-17.

Esteban, L.S., 2010. Fuentes y evaluación de recursos, en: Sebastián Nogués F., García-Galindo D., Rezeau A. (coordinadores). “Energías renovables: Energía de la biomasa (Volumen I),: Editado por Pressas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, pp. 75-95.

Ter-Mikaelian, M. T. and. Korzukhin, M. D., 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species, Forest Ecology and Management 97(1), 1-24.

Valdés - Delgado, A., 2015 Residuos azucareros como fuente de energía combustible para la generación eléctrica, en: Actas del III CONGRESO Iberoamericano sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables: Liberia (Costa Rica). Liberia: TEC, 2015, pp. 3-9.

Wulder Michael A. Joanne C. White, Nelson Ross F., Næsset Erik, Ørka Hans Ole, Coops Nicholas C., Hilker Thomas, Bater Christopher W., Gobakken Terje, 2012. Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. Remote Sensing of Environment. Volume 121, 196–209. doi:10.1016/j.rse.2012.02.001.

Zianis, D., Mencuccini, M. ,2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. Forest Ecology and Management 187, 311-332.

Otra bibliografía de interés

BIORAISE <http://bioraise.ciemat.es>

BIORAISE CE: <http://bioraise.ciemat.es/BioraiseCE/Home/Main>

6.1 Estado actual de la gasificación en la Isla de Cuba, desarrollo y potencialidad.

La gasificación de biomasa en la Isla de Cuba es conocida como tecnología tanto en los ámbitos académicos como en los tecnológicos. Hay grupos específicos que trabajan en este campo, destacando entre ellos Cubaenergía, (Jimenez et al., 2012), la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, (Lesme et al., 2016), la Universidad de Camagüey (Proenza et al. 2015, Travieso y Cala, 2005, Travieso y Cala, 2007) o el Centro para el Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER) en La Habana (Carbonell et al. 2014). Existen varios ejemplos de implantación de la gasificación para la generación y suministro de energía eléctrica (Rodríguez, 2016).

En la tabla 6.1 se ha recopilado la información disponible sobre las instalaciones de gasificación actualmente existentes en la Isla de Cuba y las que están en estado de definición. Como se puede observar, existen casos de aplicación de la gasificación a producción de energía eléctrica y térmica. Se trata de instalaciones de tamaño pequeño o moderado. Como combustible de alimentación se utilizan recursos biomásicos variados y que en ningún caso compiten con usos alimentarios, según establece la normativa vigente. La limpieza del gas se realiza mayoritariamente mediante tecnologías demostradas industrialmente como son el lavado de gas por vía húmeda y la incorporación de ciclones para eliminación de partículas. Son los mecanismos más sencillos y habituales para producir un gas limpio que se pueda alimentar a un motor de combustión interna, que pueda trabajar con gas, sustituyendo el uso de combustibles fósiles, normalmente diesel.

¹⁷ División de Combustión y Gasificación (CIEMAT)

¹⁸ División de Energías Renovables (CIEMAT)

Tabla 6.1. Instalaciones de gasificación en la Isla de Cuba (Rodríguez, 2016)

Instalación	Potencia	Combustible	Fabricante	Tipo reactor	Limpieza gas
Cocodrilo, Isla de la Juventud	50 kWe (moto-generador Dual diesel-Gas)	Residuos de bosques.	Indian Institute of Science in Bangalore IISc.	Downdraft extremo abierto	Vía húmeda e intercambiador agua-gas (chiller).
Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas.	22 kwe	Residuos de poda, soplillo, marabú.	ANKUR	Downdraft Combo-40	Vía húmeda, Venturi-Scrubber
El Brujo, Santiago de Cuba	40 kwe	Residuo aserradero	ANKUR	Downdraft Combo-80	Vía húmeda, Venturi-Scrubber
La Melvis, Isla de la Juventud.	500 kwe	Biomasa forestal (marabú, costanera, casuarina)	ANKUR	Downdraft WBG-850	Vía seca, Ciclón, filtro de mangas (carbonato de calcio) e intercambiadores agua-gas (chiller).
La Veguera, Camagüey	50 kwe	Marabú	ANKUR	Downdraft WBG-80	Vía húmeda Ciclón + Venturi-Scrubber
Amarilla (en realización), Matanzas.	Aplicación térmica (350 kWt)	Cáscara de arroz	ANKUR	Fluidizado FBG-400	Solo ciclón
Holló Colorado (en realización), Matanzas.	Aplicación térmica (900 kWt)	Cáscara de arroz	ANKUR	Fluidizado FBG-150	Solo ciclón
Enrique Troncoso (en licitación), Pinar del Rio	Aplicación térmica (800 kWt) y eléctrica (100 kWe) .	Cáscara de arroz	Por definir	Por definir	Vía húmeda, ciclón + venturi-scrubber

Prácticamente todas las instalaciones son de ANKUR Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd., India, <http://www.ankurscientific.com>.¹⁹ La tecnología de gasificación seleccionada es

¹⁹ Acceso 27/09/17

downdraft o de lecho fijo descendente, en corrientes paralelas, cuyo esquema se ilustra en la figura 6.1.

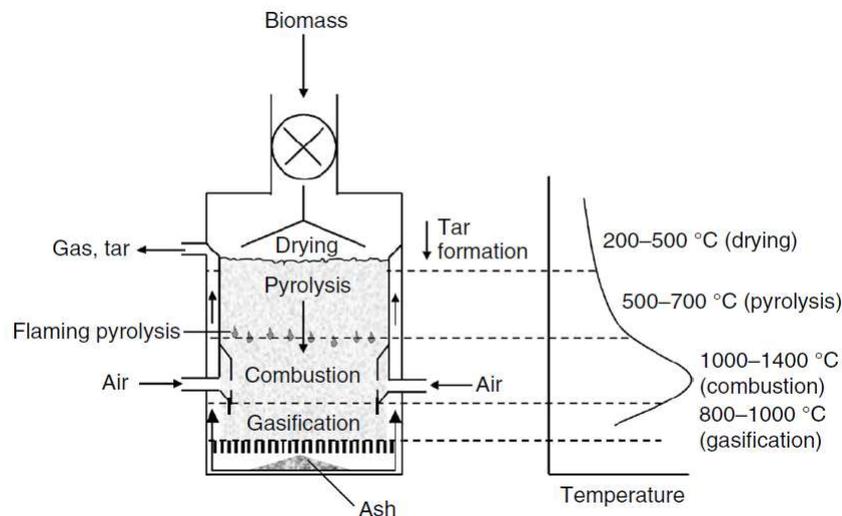


Figura 6.1. Esquema y zonas de reacción en los gasificadores *downdraft*

Las principales características de la tecnología de gasificación *downdraft* o de corrientes paralelas son las siguientes:

Ventajas:

- Construcción y operación sencilla
- Se produce un gas de salida bastante limpio, bajo contenido en alquitranes y en partículas
- Elevada conversión de biomasa, eficiencia 70-75 % (T salida elevada), $PCI_{gas} = 5 \text{ MJ/kg}$
- Alto tiempo de residencia de los sólidos.
- Adaptación flexible de producción de gas al tipo de biomasa

Desventajas:

- Potencial de escalado muy limitado con tamaño máximo pequeño, 500 kW
- Riesgo de fusión de cenizas y formación de escorias
- Indicado para combustibles con humedad baja, generalmente inferior al 20%
- Potencial formación de puentes y caminos preferenciales

El desarrollo futuro de la gasificación de biomasa en la Isla de Cuba se considera que puede estar afectado por cuatro factores:

- Fomento e impulso por las autoridades políticas de la integración de generación con energías renovables

- Disponibilidad de recurso local, aprovechable de manera sostenible
- Conocimiento científico-tecnológico de los actores locales
- Posibilidad de desarrollo y ejecución de proyectos tecnológicos

Con el objetivo de fomentar las energías renovables, Cuba ha aprobado recientemente el Decreto Ley n° 345 de Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía de 23 de marzo de 2017. El objetivo es diversificar la estructura de los combustibles fósiles empleados e incrementar la eficiencia energética, así como la contribución de las fuentes renovables de energía, con el propósito de elevar su participación en la matriz de generación de energía eléctrica, hasta alcanzar una proporción no menor al 24 por ciento en el año 2030. En la sección II del Decreto en la que se definen las fuentes renovables de energía, se incluyen recursos biomásicos como la biomasa cañera y la biomasa no cañera con la utilización de recursos forestales desechos de la industria y otros. En el artículo 14 de la sección I del capítulo II del Decreto, referente a la Utilización de las fuentes renovables de energía, se prioriza entre otras la instalación de bioeléctricas en la industria azucarera y el aprovechamiento de los residuos de cosechas agrícolas y desechos fabriles, pecuarios y urbanos para el desarrollo de la utilización de fuentes de energía. La gasificación puede ocupar un rol destacado al poder usar como combustible tanto residuos de la caña de azúcar como residuos agrícolas e industriales.

El estudio para la Recolección de Datos sobre el Sector de Electricidad en la República de Cuba, publicado en 2016 por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón en colaboración con el Ministerio de Energía y Minas contiene información de mucho interés en relación con la perspectiva de generación eléctrica a partir de los recursos locales existentes, aprovechables de manera sostenible. Se distingue entre (i) bagazo cañero, usado de forma masiva para combustión directa, lo que permite cubrir la demanda eléctrica en la planta y vender la energía sobrante al Sistema Eléctrico Nacional, (ii) recursos de biomasa (excepto bagazo), correspondientes a desechos de la actividad agrícola y forestal, residuos combustibles derivados de aserraderos, etc., los cuales se consideran de interés en el caso del suministro de energía a zonas aisladas y a pequeñas comunidades y (iii) excrementos de animales y residuos agro-industriales de la industria azucarera, las destilerías de alcohol y las empresas de cría de cerdo que pueden ser utilizado como fuente de energía para la generación de electricidad por medio de la producción de biogas.

En el apartado de conocimiento científico-tecnológico, tal como ya se ha mencionado, existe una red académica con conocimientos muy adecuados en conversión termoquímica y un incipiente tejido industrial. La celebración de los talleres sobre la Cogeneración con Sistemas

Híbridos para Electrificación Rural del proyecto AECID 2015/ACDE/001558 “Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la isla de Cuba”, Proyecto HYBRIDUS, ha permitido establecer una Red de comunicación y colaboración entre los actores locales identificados y los investigadores del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT, que permitirá seguir avanzando y profundizando en el conocimiento de la tecnología y servirá de puente hacia la experiencia existente en Europa.

La necesidad de desarrollo de proyectos de generación eléctrica con recursos biomásicos se viene evaluando por el sector académico cubano desde hace más de dos décadas., tal como recoge el informe "Contribución de la biomasa no cañera a la generación de electricidad en Cuba" (Curbelo y Garea, 1996). Según se presenta, para la producción de electricidad a partir de la biomasa en la isla de Cuba los principales proyectos y escenarios que se consideraron y se han venido desarrollando, siendo aún vigentes, son:

- Producción de electricidad en regiones aisladas, con capacidades a instalar en el orden de los 5-30 MW. De las tecnologías actuales la más apropiada es el ciclo térmico de vapor a alta presión y en perspectiva los ciclos que utilizan turbinas de gas. En determinados casos, en donde la generación eléctrica instalada ya es elevada se ha evaluado teóricamente la posibilidad de sustituir la generación diesel existente o complementarla con recursos biomásicos empleando gasificadores de Lecho Fluidizado conectados a turbina de vapor.
- Producción de electricidad utilizando residuos agroindustriales, permite generalmente la solución de problemas de contaminación ambiental y la disminución de los costos de la producción principal. La potencia eléctrica que se puede instalar es de unos pocos megawatt por lo que la utilización de plantas térmicas es muy costosa debido al factor de escala. Por este motivo, la tecnología más adecuada en este caso es el sistema gasificador de biomasa acoplado a motor de combustión interna. Como sectores prioritarios se identificaron la industria de madera aserrada y la industria arrocera.

En cuanto a la posibilidad de desarrollo de proyectos tecnológicos para el aprovechamiento termoquímico de recurso biomásico existente se han identificado oportunidades. En junio de 2014 se aprobó la Política de Fuentes Renovables de la Energía y su cronograma de implementación por el Consejo de Ministros y la Asamblea Nacional. El programa de implementación incluye instalar 2144 MW en nueva potencia eléctrica:

- 19 Bioeléctricas: 755 MW

- 13 parques eólicos: 633 MW
- Parques solares fotovoltaicos: 700 MW
- 74 pequeñas centrales hidroeléctricas

Además se deben aprovechar otras potencialidades como la energía solar térmica, la biomasa forestal, los desechos sólidos urbanos y los residuos orgánicos industriales y de la agricultura.

Análisis del estado de implantación, desarrollo y potencial de la gasificación y conversión termoquímica en la Isla de Cuba. Conclusiones.

Como resumen de los párrafos anteriores se observa que en Cuba en relación a las tecnologías de conversión termoquímica de biomasa y residuos y en particular al estado de implantación, desarrollo y potencialidad de la tecnología de gasificación:

- Existe un conocimiento del concepto de gasificación de biomasa tanto a nivel académico como en la población en general
- Hay varios casos de implantación de gasificadores para diferentes biomásas y residuos, para aplicaciones eléctricas y en estudio aplicaciones térmicas
- La tecnología seleccionada de forma mayoritaria es downdraft siendo el proveedor la firma ANKUR
- El sector académico dispone de un adecuado conocimiento de las principales tecnologías de gasificación que se vislumbran con posibilidad de implantación, desde la escala humana, gasificadores tipo Imbert invertido, downdraft y lecho fluidizado
- A nivel nacional, la gasificación puede complementar la producción eléctrica mediante combustión de bagazo de caña que seguirá siendo la principal fuente renovable a partir de biomasa
- A nivel local, la gasificación de biomasa puede estar especialmente indicada para la producción eléctrica y de biogás en regiones aisladas y para el aprovechamiento de residuos forestales y de sectores productivos, existiendo ya estudios académicos realizados por instituciones cubanas para dichas aplicaciones.
- La gasificación puede emplearse a nivel de la Isla de Cuba no solo para producción de energía eléctrica sino también para generación de energía térmica, especialmente asociado a procesos productivos, como el sector arrocero.

- En regiones aisladas la gasificación podría servir no solo para producir energía eléctrica sino también gas susceptible de ser empleado como combustible de alimentación.
- El tamaño de las instalaciones marcará la tecnología a emplear. Los gasificadores *downdraft* son una buena solución por su simplicidad y facilidad de operación, pero están limitados en cuanto al tamaño máximo.
- Las fuentes renovables de biomasa disponible son estacionales y por ello se deben hibridar, particularmente en regiones aisladas con otras energías renovables para garantizar el suministro de energía.

6.2 Optimización del proceso de gasificación

Como ejemplo de caso real de la implantación de la gasificación de biomasa en la Isla de Cuba y análisis de posibilidades de mejora se ha seleccionado el gasificador de marabú de La Veguera, Gauaimaro, Camaguey.

El desarrollo de la bioplanta de La Veguera nace del interés por dar solución sostenible a la problemática asociada al marabú, especie indeseable (que afecta producciones económicas) e invasora (que perjudica ecosistemas naturales o semi-naturales). Con el objetivo de acometer su gestión y uso como recurso biomásico a finales del año 2011 se dio inicio al proyecto denominado "Biomasa Marabú" que pretendía aprovechar el alto poder calórico de dicho arbusto para generar electricidad con su biomasa. Se trata de una iniciativa surgida desde el sector universitario y forestal cubano y llevada a cabo en consorcio por la ONGD española SODEPAZ y la cubana ACTAF, con fondos de la Comisión Europea, de la Junta de Andalucía, de SODEPAZ y del gobierno cubano.

El proyecto pretendía demostrar la factibilidad y eficiencia del aprovechamiento energético de la biomasa del marabú de cara a ser una opción viable para el cambio de la matriz energética cubana, abandonando la alta dependencia de los combustibles fósiles externos en favor de las energías renovables.

La demostración de la factibilidad de la propuesta se basó en la puesta en marcha de dos experiencias piloto en la provincia de Camaguey. La primera, demostrar y asegurar una futura industria en torno a la biomasa de marabú en Cuba, cosechando y astillando la biomasa con equipos de alta tecnología y transportándola al Central Azucarero Agramonte para quemarla y entregar la electricidad generada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

La segunda experiencia de carácter más local era electrificar la comunidad aislada de La Veguera, municipio de Guáimaro, provincia de Camagüey, mediante la instalación en la misma de una bioplanta de gasificación alimentada por la biomasa de marabú que permita dar solución real a la ausencia de energía en los lugares más remotos y menos desarrollados. Desde el punto de vista tecnológico el proyecto está considerado hoy ya, como la primera piedra angular hacia un aprovechamiento energético generalizado de la biomasa forestal en Cuba. La planta dará el suministro eléctrico a una comunidad ganadera de unas 35 viviendas.

Coincidiendo con el primer taller del Proyecto HYBRIDUS “Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la isla de Cuba”, AECID 2015/ACDE/001558, un investigador de CIEMAT y el responsable de SODEPAZ en el proyecto participaron en la puesta en marcha de la bioplanta de gasificación de marabú, del 27 al 29 de junio de 2016.

La instalación está formada por un sistema de preparación del recurso biomásico, que consiste en un sistema mecanizado de corte de marabú, y la bio-planta de generación eléctrica propiamente dicha, la cual está constituida por las siguientes unidades:

- El sistema de almacenamiento, transporte y alimentación de biomasa
- El reactor de gasificación propiamente dicho
- El sistema de enfriamiento y depuración del gas
- El sistema de tratamiento de agua de lavado del gas
- El sistema de evacuación de gas, antorcha
- Motor de generación eléctrica
- Sistema de control de la instalación y sistema auxiliar de arranque

El sistema mecanizado de corte, Figura 6.2, derecha, permite reducir el tamaño de las ramas de marabú, Figura 6.2, izquierda, al requerido por las especificaciones de diseño del gasificador, tamaño mínimo 15 mm y máximo 50 mm.



Figura 6.2 Fotografía de marabú recolectado y sistema mecanizado de corte

El sistema de almacenamiento y alimentación de biomasa consta de un silo cuya carga es manual y que permite varias horas de operación sin necesidad de recarga, una cinta transportadora automatizada y un elevador de cangilones para transportar el combustible desde el nivel del suelo hasta la zona superior del gasificador, por donde es alimentado cada 20-30 minutos.

El gasificador, Figura 6.3, izquierda, es tecnología Ankur modelo WBG-80, de tipo downdraft. Está indicado para productos tipo astilla, madera u otros productos similares. Las especificaciones en cuanto al tipo de combustibles a emplear son bastante estrictas. El tamaño debe estar comprendido entre 10 mm de diámetro y 10 mm de longitud y 50 mm de diámetro y 50 mm de longitud. La humedad del combustible debe ser inferior al 20% (base húmeda) y el contenido en cenizas inferior al 5%. En cuanto a la humedad, la instalación permite el secado de la biomasa por intercambio de calor con los gases de escape del motor. El reactor dispone de un sistema continuo y automático de extracción de ceniza por su zona inferior, por vía seca. El consumo máximo de combustible es de 72 kg/h, la temperatura de gasificación la habitual de los gasificadores downdraft 1050 – 1100°C y la temperatura del gas a la salida del reactor entre 300 y 500°C. La producción máxima de gas es 180 Nm³/h y la eficacia teórica de gasificación, según datos del fabricante es superior al 85% en caliente y al menos 75% en frío.



Figura 6.3. Gasificador (izquierda) y sistema de depuración y acondicionamiento del gas (derecha)

El enfriamiento y depuración del gas de gasificación se realiza por combinación de sistema de depuración por vía seca y húmeda. El sistema primario está diseñado para la eliminación de cenizas volantes por vía seca en dos ciclones en serie. El sistema secundario consta de un lavador tipo Venturi para la eliminación de alquitranes. El agua de lavado se utiliza en circuito cerrado ya que no se dispone localmente de un sistema de abastecimiento de agua.

El efluente de la torre de lavado se envía a una planta de tratamiento de vertidos. El agua de lavado es enviada a la planta de tratamiento de vertidos, que se muestra en la Figura 6.4, izquierda. Está formada por una piscina, y por reactores de tratamiento químico. De esta manera se minimiza el consumo de agua necesario para la etapa de lavado del gas. La disposición del efluente de purga debe ser gestionada por el usuario de la instalación según los estándares locales.



Figura 6.4. Sistema de tratamiento de agua de lavado, piscina y reactores de tratamiento (izquierda) y motor de combustión interna para generación eléctrica (derecha)

La generación eléctrica se produce en un motor de combustión interna de 63 kVA de Ashok Leyland, India, Figura 6.4, derecha, que permite producir un máximo de 40 kWe usando como alimentación el gas de gasificación producido. Durante la fase de arranque de la instalación el gas es enviado a una antorcha donde se quema para su evacuación.

Para iniciar la operación de la instalación es necesario disponer de energía eléctrica. Ésta se consigue mediante un generador diésel de 9 kWe

La instalación en su conjunto se aloja en una nave de ladrillo y cubierta y existe conexión, desde la salida del generador hasta los interruptores individuales a la entrada de las viviendas que conforman la comunidad, mediante tendido eléctrico aéreo.

Comentarios y sugerencias de mejora aplicables a la bioplanta de gasificación de La Veguera y a otras similares instaladas o a instalar en regiones aisladas de Cuba

- La tecnología de gasificación seleccionada se considera adecuada por ser sencilla pudiendo ser operada la instalación por personas de la propia comunidad a la que da servicio
- El arranque de la instalación requiere de suministro eléctrico. En la instalación de referencia, esto se consigue actualmente mediante el generador diésel existente, el cual debe ser mantenido adecuadamente, asegurando la disponibilidad de combustible.
- La comunidad de La Veguera no dispone de agua corriente lo que dificulta reponer el agua de lavado en caso de que sea necesario.
- La depuración de los gases se realiza mediante lavado por vía húmeda, lo que genera una cantidad muy elevada de líquidos de lavado que deben ser tratados. No existe una gestión adecuada del agua de purga de lavado y de los efluentes de la planta de tratamiento de vertidos, los cuales se prevé se verterán al campo con posibilidad de problemas de contaminación.
- El gas de gasificación genera un gas que contiene productos inflamables (hidrógeno) y altamente tóxicos (monóxido de carbono). Se deben contemplar desde la fase de diseño aspectos relacionados con la seguridad e higiene. En el caso de referencia, en el momento de la puesta en marcha no existían en la planta, ubicada en una nave, ningún sistema de seguridad ni de detección de gases tóxicos o inflamables.
- La instalación de referencia permitía quemar el gas de gasificación cuando éste no se envía a motor. No obstante, desde el punto de vista de seguridad se aconseja ubicar la antorcha fuera del recinto de la nave.
- Se debe buscar en la medida de lo posible que los sistemas de control sean sencillos si van a ser operados por personal no experto. Los sistemas automáticos de supervisión y control permiten no obstante la operación no vigilada de forma segura y fiable. Teniendo en consideración la singularidad de la Isla de Cuba, se debe garantizar disponer de los repuestos de los elementos principales de la instalación que pueda ser necesario sustituir

- En la instalación de referencia no existe sistema de acumulación de gas, gasómetro o similar, lo que obliga a que todo el gas sea utilizado para generar energía o quemado en la antorcha para su emisión a la atmósfera. Disponer de un sistema de acumulación de gas permitiría independizar la producción de éste y de su consumo, pudiéndose emplear además para otros usos como por ejemplo cocinado de alimentos
- La tecnología de gasificación downdraft presenta limitaciones tecnológicas como unos requisitos bastante exigentes en el tamaño del combustible de alimentación, su humedad o la capacidad de la instalación. Para futuras implantaciones de unidades de gasificación se aconseja diversificar tecnologías de gasificación en función de la escala de aplicación de forma que se flexibilice la utilización de un amplio espectro de combustibles.
- Se aconseja para el futuro el desarrollo de tecnologías propias de gasificación, ya que el sector académico cuenta con los conocimientos adecuados para ello y existen empresas de ingeniería lo que permitiría su ejecución. Así mismo se dispone de una red adecuada de contactos internacionales en el ámbito de la investigación y desarrollo.
- La hibridación de los sistemas de producción de energía eléctrica con otras fuentes renovables, solar fotovoltaica, eólica, con baterías de acumulación usando recursos renovables disponibles se antoja imprescindible para tener mayores garantías de suministro, evitar el arranque con combustible fósil, diésel y junto a la existencia de un gasómetro gestionar el suministro racional de la energía eléctrica y diversificar el uso del gas producido como ya se ha indicado.
- En dichos sistemas híbridos el sistema principal debe basarse en paneles fotovoltaicos/molinos eólicos-batería y el gasificador como respaldo (acumulación de gas) y operación cuando no se encuentren disponibles los otros sistemas.

6.3 Diseño de un proceso de gasificación y aplicabilidad solar.

El objetivo de este apartado es presentar el diseño de un proceso de desarrollo sostenible de gasificación de biomasa y energía solar con un alto grado de eficiencia y mínimo impacto medioambiental, que potencie en un corto plazo el aprovechamiento de los recursos energéticos (biomasa y solar) disponible en las zonas rurales de Cuba, como difusión de las experiencias obtenidas en este proyecto.

Para ello, en este apartado se describe el comportamiento del proceso de gasificación existente en La Veguera, como situación de partida. A partir de esta instalación existente, se presenta el diseño y comportamiento de dicha instalación hibridada con un generador solar fotovoltaico (FV). Los comportamientos mostrados son el resultado de las respectivas simulaciones llevadas a cabo dentro del proyecto, que nos permiten realizar un análisis económico y energético de los sistemas. El software utilizado será el programa HOMER, versión Legacy, comercializado por la empresa HOMER Energy LTD.

Posteriormente, en el siguiente apartado, se mostrarán los resultados del estudio de optimización del sistema híbrido, consistente en el dimensionado de los componentes que conducen a mejorar el comportamiento del sistema híbrido gasificador – solar FV aquí presentado, mostrando igualmente el comportamiento del sistema optimizado y la cuantificación de la mejoría.

En resumen, se presentarán los resultados de la simulación del comportamiento correspondiente a los siguientes casos de estudio:

- **Caso base:** gasificador de La Veguera de 40 kW_e. Es el sistema existente.
- **Caso mejorado:** hibridación con instalación FV de 10 kW_p. Es la opción propuesta inicialmente en este proyecto
- **Caso optimizado:** a partir de toda la información recopilada, es la propuesta de diseño optimizado del sistema híbrido para La Veguera.

Los dos primeros casos se presentan a continuación, mientras que el tercer caso, la optimización del diseño, será objeto del apartado 6.4. La exposición que se va a realizar es, por lo tanto, secuencial, por lo que el entendimiento de cada caso requiere la asimilación del caso anterior.

6.3.1 Comportamiento del caso base: gasificador de La Veguera

El proceso de gasificación existente en La Veguera ha sido descrito ampliamente en apartados anteriores, por lo que en este epígrafe tan solo se van a resumir las características del mismo que se han utilizado para la simulación de su comportamiento. Se presentarán en primer lugar los elementos que intervienen en el comportamiento del sistema, para posteriormente mostrar los resultados obtenidos a partir de la simulación realizada de dicho comportamiento.

6.3.1.a.- Descripción de los parámetros utilizados para la caracterización

A continuación se listan los distintos aspectos del sistema que influyen en el funcionamiento del mismo, y a cuya caracterización se procede seguidamente. Estos son:

- Los consumos
- Los recursos disponibles
 - o Biomasa
- Los componentes
 - o Gasificador de Biomasa
 - o Grupo electrógeno de gas.
- Los parámetros económicos

Caracterización de la comunidad: datos de consumos utilizados

Asegurar el suministro de energía eléctrica a la comunidad La Veguera a lo largo de todo el año es el principal objetivo del Sistema Híbrido que se pretende implementar, es por ello que se intentará a continuación cuantificar y modelar las exigencias de la demanda de energía impuestas por la comunidad y que el sistema deberá ser capaz de atender.

No es ocioso comentar la significación de una adecuada estimación del comportamiento de los consumos en el diseño de cualquier sistema aislado de red, una subvaloración del consumo conllevaría al dimensionamiento de un Sistema incapaz de satisfacer las expectativas de la comunidad, mientras que el caso opuesto provocaría el sobredimensionado del sistema con la inevitable repercusión económica sobre el proyecto.

No obstante, no siempre es posible contar con todos los datos necesarios para lograr una completa caracterización del consumo a lo largo de todo el año, por lo que frecuentemente es necesario recurrir a estimaciones basadas en unos pocos datos de partida disponibles.

Para caracterizar el comportamiento del consumo o la demanda energética de la comunidad es necesario definir: La carga Pico y la carga promedio además de la distribución anual y diaria esperada.

Estimación de consumos energéticos en La Veguera

La comunidad de La Veguera es una comunidad aislada al norte del municipio de Guaimaro, provincia de Camagüey, que no estaba electrificada. Sus habitantes se dedican mayoritariamente a la cría de ganado vacuno, siendo la provincia de Camagüey la más ganadera de Cuba.

La información de la que se dispone para la caracterización de la comunidad de La Veguera no es precisa: se sabe que consta de un número de viviendas (entre 25 y 50, según la fuente), una bodega, una escuelita rural, y una sala de video, estas dos últimas electrificadas con paneles fotovoltaicos.



Figura 3. Escuelita rural con paneles FV (izquierda) y tipología de vivienda en La Veguera

El grupo principal de consumo que se va a analizar es el que corresponde a los consumos de la comunidad. Para la estimación de dichos consumos de la comunidad, se han seguido los siguientes criterios:

- Considerar el consumo medio por habitante y día utilizado en el capítulo de Sistemas de Información Geográfica. Este valor es de 900 Wh/día, para cada habitante. Considerando un número de habitantes igual a 120 (SODEPAZ, 2012), el consumo total sería de 108 kWh/día, para toda la comunidad.

- Pero es necesario saber también el perfil del consumo, la distribución horaria y estacional de las cargas. Para ello se seguirán los criterios utilizados en estudios similares (Toledano Gómez, 2009), que se resumen seguidamente.

El consumo comunitario se extiende a la demanda proveniente de las viviendas, el círculo social y la iluminación pública del poblado, encontrándose determinado por el uso de equipos electrodomésticos (radio, TV, refrigeradores, ventiladores, DVD aunque en menor escala) y de iluminación fundamentalmente. El hecho de que las cargas principales no sean productivas sino de origen domiciliario o doméstico conlleva a pensar que los consumos en la comunidad sean superiores los fines de semanas, en los que las familias dedican más tiempo a las actividades domésticas y de ocio, que el resto de la semana, donde las actividades productivas del poblado suelen ser las dominantes. Se estima que los consumos durante el fin de semana son un 20% superior a los correspondientes a días de semana.

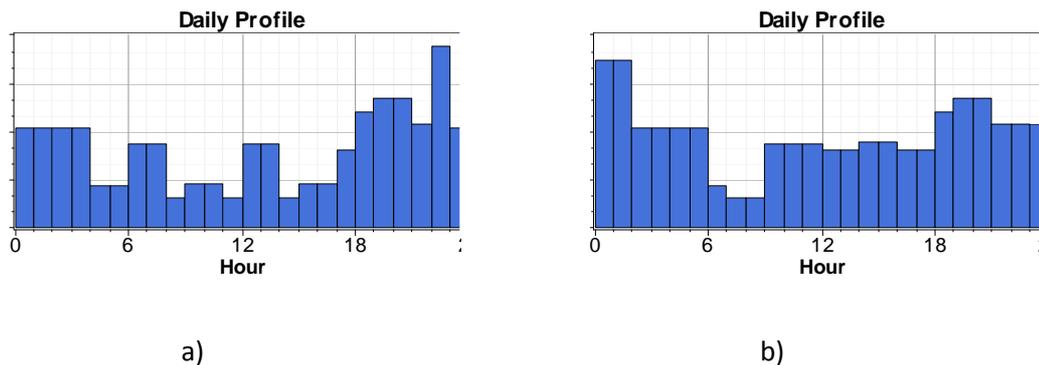


Figura 4. Consumo estimado para la comunidad en los meses Enero-Junio, Septiembre-Octubre:

a) Día de semana b) Fin de semana

Una situación similar se presenta en los meses de Julio y Agosto, pues al ser un periodo preferente de vacaciones y coincidir con los meses donde se experimentan las más altas temperaturas, el consumo tiende a incrementarse (no diferenciándose mucho entre fin de semana y día de semana), en comparación con el resto de los meses del año. Se ha considerado un 30% de consumo adicional sobre la referencia inicial establecida.

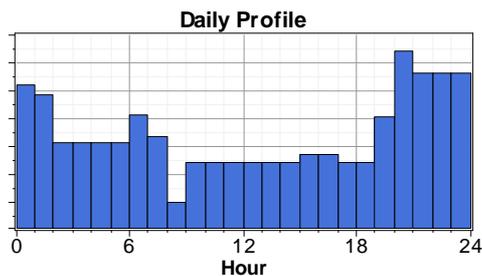


Figura 5. Consumo estimado para la comunidad en los meses Julio y Agosto

A partir de los perfiles elaborados, se generará una serie de datos horarios, que representen el promedio de la demanda eléctrica experimentada en cada hora del año, utilizando la posibilidad que el software de simulación utilizado brinda para ello. El consumo promedio anual demandado por la carga, es 108 kWh/día con una demanda pico de 15 kW.

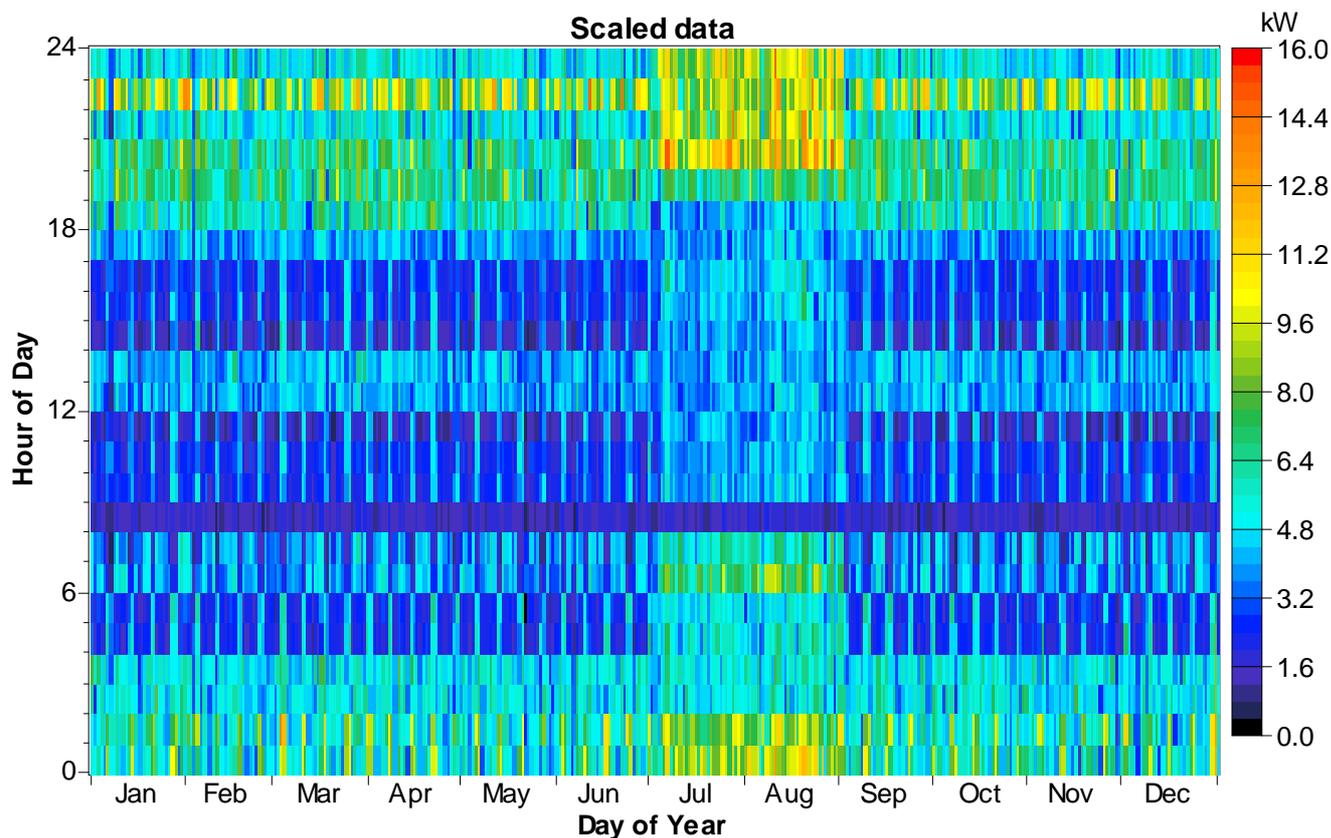


Figura 6. Serie temporal elaborada para la caracterización de la demanda en La Veguera, empleada como base para la simulación

El procedimiento utilizado nos ayuda a poder realizar una primera evaluación de la demanda de la comunidad y por tanto del Sistema que puede adaptarse a la misma, sin embargo

tiene limitaciones puesto que los incrementos porcentuales utilizados han sido escogidos según estudios realizados en otras comunidades, por lo que carecen de una total fiabilidad. Para obtener datos más fiables se requiere como mínimo contar con medidas reales tomadas en cada periodo significativo identificado. No obstante, el análisis de sensibilidad de esta variable del consumo ayuda a paliar el efecto de esta incertidumbre, presente en cualquier sistema de electrificación rural. Así se hará en este estudio. Este tipo de análisis de sensibilidad permite también contemplar posibles evoluciones de la demanda, típicamente el crecimiento a medio y largo plazo, motivado típicamente por el crecimiento demográfico y de la actividad productiva asociado a este tipo de emprendimientos.

Datos de recursos renovables utilizados: Recurso biomasa y gasificador

La caracterización de la biomasa como recurso renovable se realiza a partir de los siguientes parámetros:

1.- Biomasa disponible (toneladas/día): Se asume que la biomasa es alimentada al gasificador para producir biogás, y los generadores consumirán el biogás para producir electricidad. La biomasa que se utilizara en La Veguera es principalmente marabú. Aunque no hay una evaluación estimada de la disponibilidad de marabú en sus alrededores, se considera que es varias veces superior al requerido por la planta. Por lo tanto, se ha estimado la biomasa necesaria para aportar los consumos eléctricos calculados en el apartado correspondiente, utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Biomasa (kg/h)} = \text{Cons. Gas (kg/h)} / \text{Relación de gasificación (kg/kg)}$$

El consumo de gas se establece a partir de la potencia eléctrica entregada por el grupo y la curva de consumo de combustible del grupo electrógeno, mientras que se ha tomado el valor 1.89 kg/kg para la Relación de gasificación; ambos serán analizados en apartados posteriores. En la siguiente gráfica se muestran los valores medios de los consumos en biomasa calculados a partir de los consumos eléctricos:

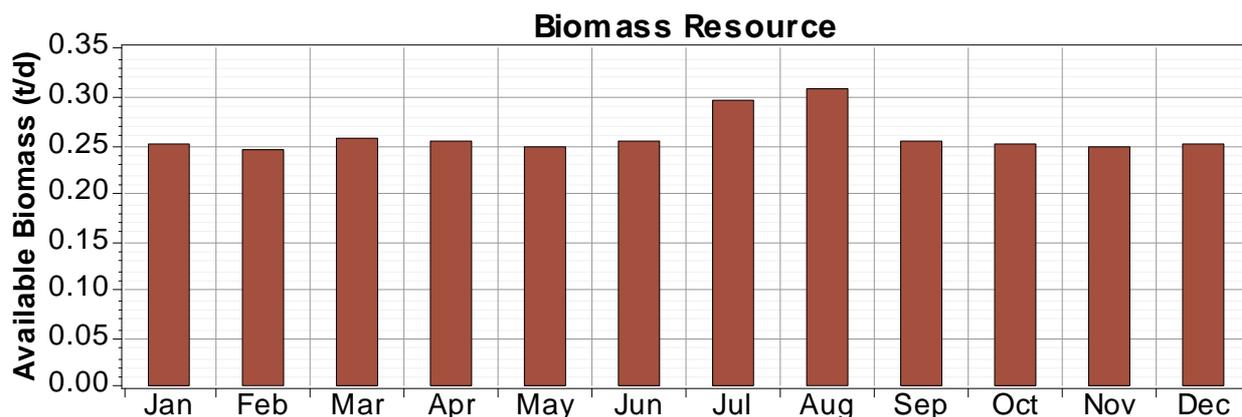


Figura 7. Recurso de biomasa en La Veguera, utilizado en el diseño

No obstante, para independizar la operación del gasificador de la producción de electricidad en el grupo electrógeno, la solución es incorporar un gasómetro de almacenamiento de gas. De esta forma en caso necesario el gas excedente puede ser incluso aprovechado como suministro para otros usos, por ejemplo para el cocinado de alimentos.

2.- **Precio medio (\$/t):** 120 CUP/ton = **5 USD/ton** (Fuente: CubaEnergía); cambio aplicado: 1USD = 24 CUP

3.- **Contenido en carbono (%):** a partir del análisis de muestras de marabú (corteza + tronco) llevado a cabo en los laboratorios de CIEMAT-CEDER en Soria, se arrojan los siguientes resultados:

ref. original	Humedad (% b.h.)	Ceniza (% b.s.)	Volátiles (% b.s.)	Carbono (% b.s.)	Hidrógeno (% b.s.)	Nitrógeno (% b.s.)	Azufre (% b.s.)	Cloro (% b.s.)	Oxígeno (% b.s.)
Marabú La Veguera, Planta gasificación La Veguera (Cuba)	11,1	3,3	78,3	48,0	6,1	0,49	0,09	0,09	41,93

Tabla 9: Resultados del análisis de las muestras de marabú en La Veguera (remarcando el valor correspondiente al contenido en Carbono)

Por lo que el valor utilizado para el Contenido en Carbono es de 48%,

4.- Relación de gasificación (kg/kg): entendido como la relación entre el biogás generado y la biomasa consumida en el gasificador. El valor obtenido es 1.87 kg/kg, y su cálculo se describe a continuación:

La tecnología de la planta es de la empresa india Ankur, posee un gasificador modelo WBG-80 con sistema de limpieza húmedo. A partir de los datos de ANKUR:

Peak Rated Thermal Output (Kcal/hr)	198,000
Peak Rated Biomass Consumption: m_{biomasa} (kgs/hour)=	72
LHV _{gas} (kcal/kg) = (ver parámetro 5)	1468.89
$m_{\text{gas}} = 198000\text{kcal/h}/1468.89\text{kcal/kg} =$	134.79 kg/h
$m_{\text{gas}} / m_{\text{biomasa}} = 134.79\text{kg/h} / 72\text{kg/h} =$	1.87

5.- Poder Calorífico Inferior del biogás (PCI), en (MJ/kg): Según datos del fabricante el PCI del gas es de aproximadamente 1050 kcal/Nm^3 (1468.89 kcal/kg) o, lo que es lo mismo, **6.15** MJ/kg.

Grupo electrógeno

A partir de la información del Proyecto HYBRIDUS, se cuenta con los siguientes datos para la caracterización del grupo electrógeno:

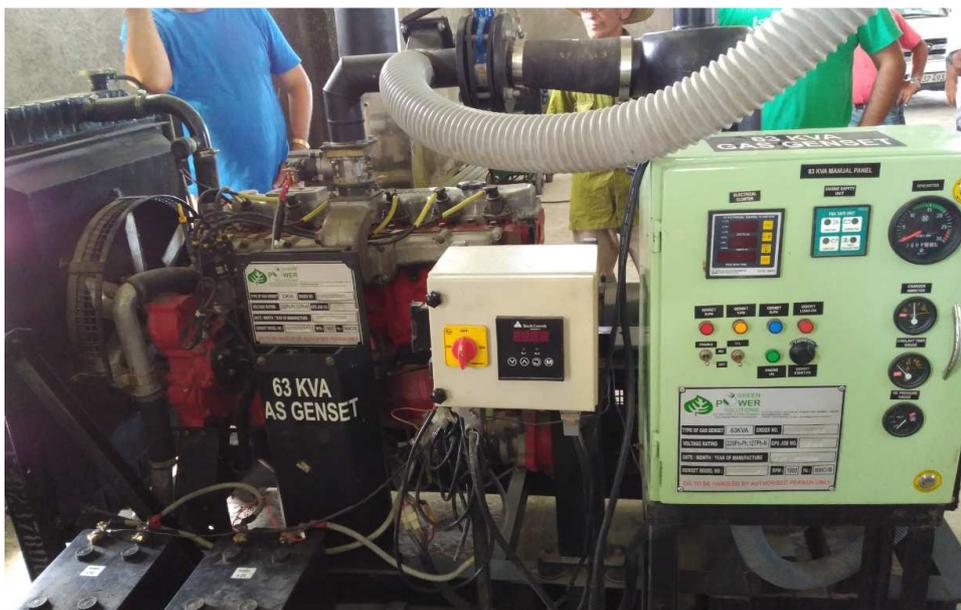


Figura 8. Grupo electrógeno en la instalación de la La Veguera

o *Coste*

Parámetro	Valor utilizado
Potencia	40 kWe
Costo de inversión inicial	120 mil USD
Reposición (sólo del grupo electrógeno)	12 mil USD
O y M	5 (USD/hr)
Vida útil (horas de operación) para el grupo electrógeno. Para el gasificador, 15 años	10000/15000
Tipo de potencia que produce (AC / DC)	AC
Ratio mínimo entre la carga y la potencia nominal, en porcentaje	0/30 %

Tabla 10: Valores utilizados en la caracterización del coste del grupo electrógeno

El último parámetro, el Ratio mínimo de funcionamiento, obedece a la recomendación de los fabricantes de, en la medida de lo posible, no hacer funcionar a los grupos a cargas muy bajas (típicamente por debajo del 30%), pues esto disminuye su vida útil. En nuestro caso, puesto que abordaremos tres casos de estudio diferentes, se plantean dos casos en lo que respecta al grupo electrógeno:

- Grupo como garantía de la estabilidad del suministro: correspondería a los dos primeros casos de estudio, en los que el grupo debe estar siempre funcionando como componente que mantiene la estabilidad eléctrica del suministro. En este tipo de operación, el Ratio mínimo de funcionamiento debe ser 0% (el grupo debe estar funcionando, y consumiendo combustible, incluso si no abastece carga alguna) y la vida útil se vería reducida a 10000 horas.
- Grupo como sistema de respaldo: correspondería con el tercer caso de estudio, el sistema optimizado donde se permite que existan baterías que se encargan de mantener la estabilidad eléctrica del suministro. En este modo de operación, el grupo electrógeno solo es arrancado cuando el sistema está perdiendo la capacidad de suministrar energía, por lo que se comporta como un sistema de respaldo. Por ello, el grupo sólo trabajaría con potencia de demanda elevada, limitando el Ratio mínimo de funcionamiento al 30%, por lo que la vida útil sería mayor, de 15000 horas.

○ *Combustible*

▪ *Curva de consumo de combustible*

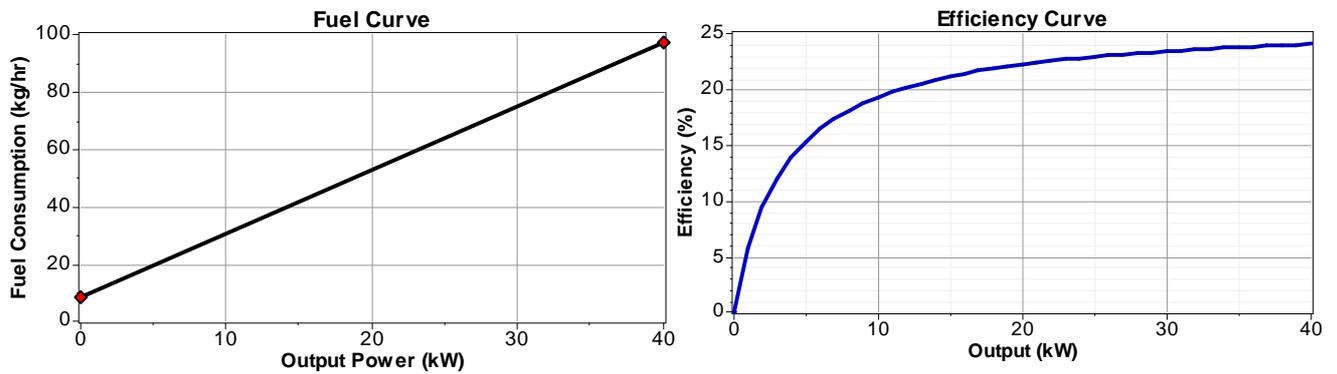


Tabla 11: Curva de combustible estimada y curva de eficiencia del grupo electrógeno

La recta que representa el consumo de combustible del grupo electrógeno se ha estimado a partir de los dos valores extremos:

- El consumo de combustible al ralentí, cuando no entrega potencia, se ha considerado de 8 kg/h
- El cálculo del consumo de combustible a potencia nominal se ha realizado aplicando la siguiente expresión: $\text{Combustible}_{\text{nominal}} = 40\text{kW} * 1.3 \text{ kg/kWh} * 1.87 = 97.35 \text{ kg/h}$

▪ *Avanzado*

Para mejorar la eficiencia del grupo electrógeno, se utilizan los gases de escape del motor para secado de la biomasa, habiéndose supuesto un ratio de recuperación de calor del 50 % de la potencia disponible en la combustión. En la siguiente figura se muestra la curva de eficiencia del grupo electrógeno sin (azul) y con cogeneración (negro), observándose la importante mejora en la eficiencia energética del mismo.

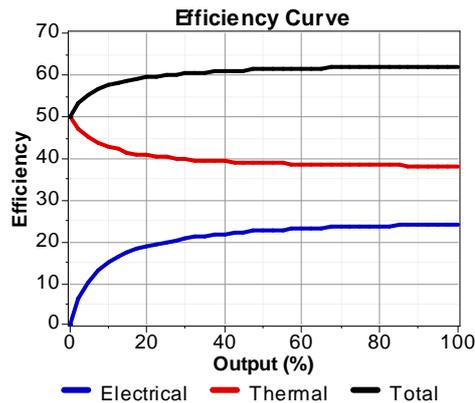


Figura 9. Curvas de eficiencia del grupo electrógeno

○ *Programación*

Se estima que la planta funcione 24 horas al día lográndose no menos de un 80% de disponibilidad en el año. Para lograr esto entre otras acciones se adquirieron dos motores uno reserva del otro.

○ *Emisiones*

A partir de la información aportada por el fabricante de la gasificadora, se ha considerado un factor de emisiones de 0.2 gr de monóxido de Carbono y uno de 0.04 gr de óxidos de Nitrógeno, ambos por cada kilogramo de combustible.

Parámetros económicos

Al tratarse de un prototipo, el análisis económico no tiene la misma importancia que en el análisis de viabilidad de un sistema convencional. No obstante, se muestra a continuación los parámetros económicos principales que se han empleado:

- Tasa de descuento: 10% (igual que en SIG)
- Vida del proyecto: 15 años

6.3.1.b.- Comportamiento esperado del caso base

La solución planteada inicialmente en el proyecto está formada por los siguientes equipos:

- Generación a partir de biogás: 40 kWe

Y debe alimentar la demanda descrita anteriormente, con un consumo medio diario de unos 108 kWh/día. A partir de estos componentes, los resultados obtenidos mediante la simulación con el software HOMER Legacy, son los que se resumen a continuación

Comportamiento económico

Aunque ya se ha mencionado que el análisis económico del caso base no tiene ahora mismo mucho sentido en sí mismo pues el sistema de La Veguera ya está instalado, se presenta a continuación para utilizarlo como referencia de los otros casos en los que se incluye generación renovable. El LCOE obtenido para este caso sería de 0.811 \$/kWh. El resumen de costes a lo largo de la vida del proyecto sería el que aparece en la tabla:

Componente	Capital (\$)	Sustitución (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Recuperación (\$)	Total (\$)
La Veguera	120,000	79,025	66,629	3,216	-2,471	266,400

Tabla 12: Comportamiento económico del Caso Base

Estos costes totales se desglosan año a año en el Flujo de Caja de la siguiente figura:

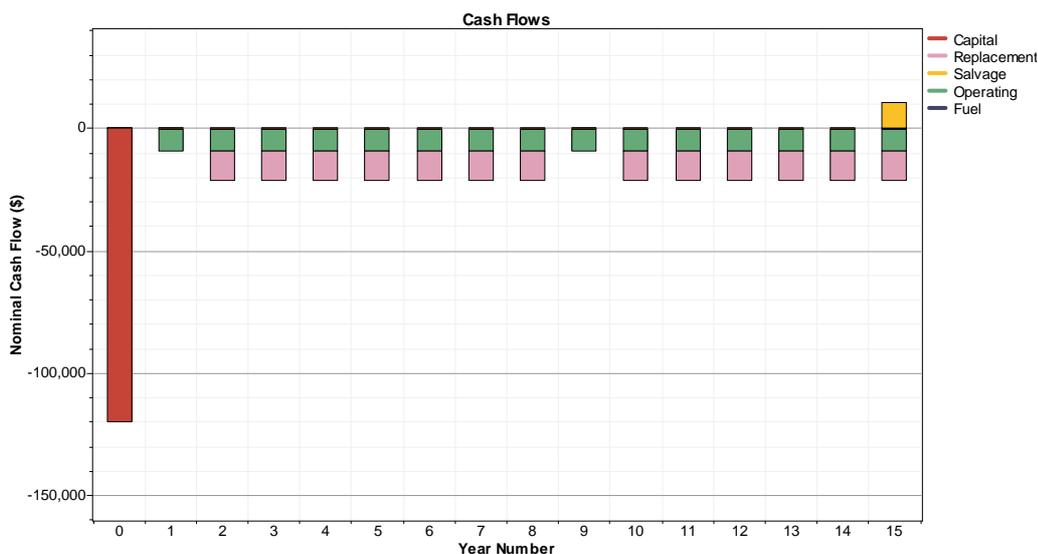


Figura 10. Flujo de caja para el Caso Base

Quizás sorprende el alto valor de la inversión inicial para ser una instalación alimentada por un grupo electrógeno pero no hay que olvidar que, dentro de esa inversión inicial, está incluido también el gasificador. Otro aspecto que puede sorprender también es el muy bajo valor del coste de combustible (Fuel) para una instalación con grupo electrógeno; de nuevo la respuesta hace alusión al tipo de combustible del que se trata, el gas procedente del marabú, cuyo coste de recolección es muy bajo, de acuerdo con la información de la que se ha dispuesto en el Proyecto.

Comportamiento energético

En este caso, los 39420 kWh demandados por la Comunidad anualmente serán entregados íntegramente por el grupo electrógeno, no existiendo ni excedente de energía eléctrica ni energía demandada no entregada. En la siguiente tabla se presentan los principales parámetros que caracterizan el comportamiento energético del caso base, así como los correspondientes comentarios.

Cantidad	Valor	Unidades	Comentario
Horas de operación	8,760	hr/año	Siempre encendido
Número de arranques	1	arranques/año	No para
Vida útil	1.14	años	Altos costes de reposición
Factor de capacidad	11.2	%	Bajo
Producción eléctrica	39,420	kWh/año	Toda
Potencia media entregada	4.5	kW	Es baja, para un grupo de 40 Kw
Potencia mínima entregada	0.25	kW	Poco eficiente
Potencia máxima entregada	15	kW	Incluso la máxima es baja
Producción térmica	115,372	kWh/año	Se aprovecha para secar el marabú
Consumo marabú	84.6	t/año	Una cantidad importante
Consumo específico gas	4.012	kg/kWh	Mucho mayor que el 1.3 nominal
Eficiencia eléctrica media	14.6	%	Baja, lejos del nominal
Eficiencia total media	57.3	%	Mejora sensible

Tabla 13: Resultados de operación del Caso Base

Como resumen de estos resultados, podría señalarse que: no interesa tener la planta funcionando continuamente con cargas tan bajas (esto se mejorará en los próximos casos); la planta existente está sobredimensionada para proporcionar exclusivamente la electricidad demandada por la Comunidad de La Veguera. De hecho, realizando un análisis de sensibilidad

respecto al consumo, se obtiene la siguiente gráfica, en la que puede verse cómo la eficiencia (menor consumo de marabú por kWh) aumenta y el LCOE disminuye al incrementar el consumo atendido.

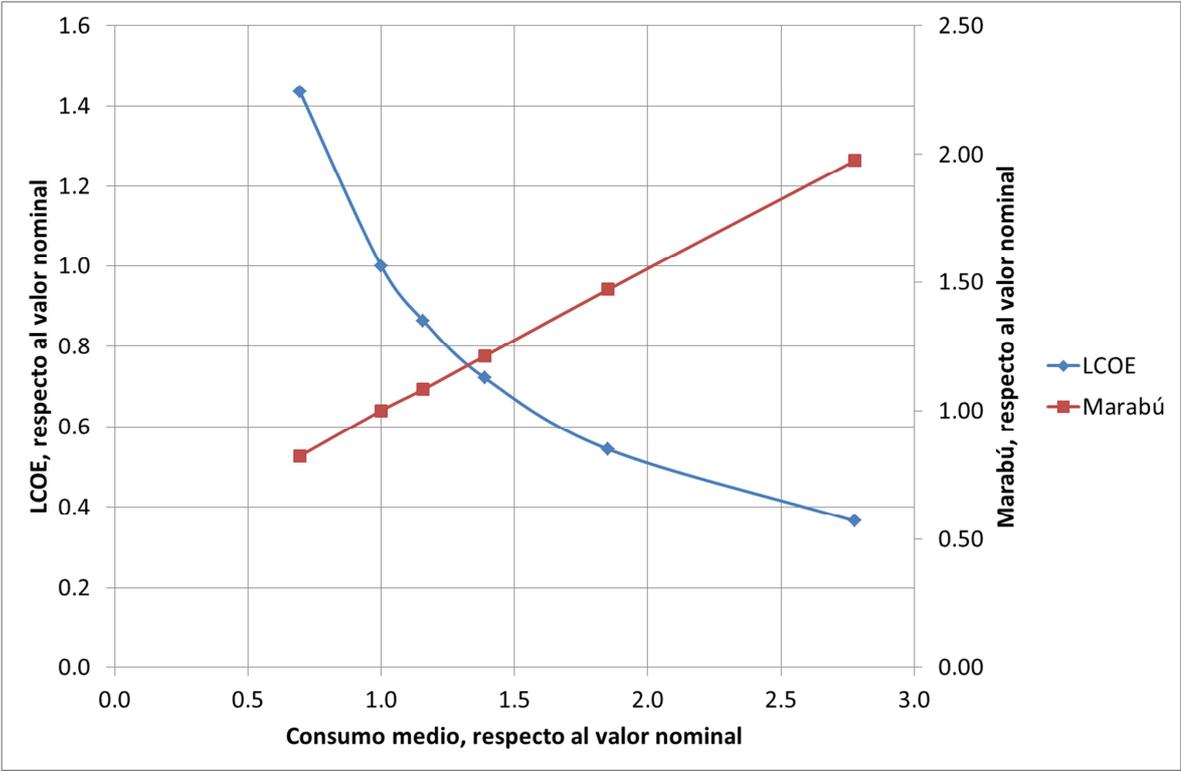


Figura 11. Análisis de sensibilidad respecto al consumo, para el Caso Base

Se abre la puerta por lo tanto a otros usos de la instalación existente en La Veguera, tales como el uso del gas generado para otras aplicaciones no eléctricas, aplicaciones industriales de pequeña potencia (motores, frio-calor,...), etc.

6.3.2 Comportamiento del caso mejorado: gasificador + generador FV

Como se ha expuesto en el epígrafe anterior la implantación actual del gasificador de La Veguera y otros a los que se ha tenido acceso, por ejemplo El Brujo, no garantizan el suministro continuo de energía eléctrica. Por ello se considera ventajosa la hibridación con otras tecnologías que usen recurso renovable como la solar o la eólica.

Si bien la utilización de energía eólica es posible en determinadas zonas de Cuba, se considera que el uso de recurso solar, muy disponible, hace que la hibridación mediante paneles fotovoltaicos sea la más adecuada. La generación eléctrica fotovoltaica está ya muy extendida en la Isla, tal como se recoge en el informe publicado en 2016 por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en colaboración con el Ministerio de Minas de la República. Según los datos publicados (JICA, 2016) la capacidad instalada asciende a 22 MW, existiendo 14 parques fotovoltaicos. Según se recoge en dicho informe la generación solar fotovoltaica alcanzó 49.000 MWh/año en 2014.

En este primer diseño se va a analizar la inclusión de un generador FV a la planta alimentada por el grupo electrógeno alimentado a partir del biogás procedente de la planta gasificadora. En el apartado siguiente se evaluará la optimización de la planta incorporando otros criterios en el diseño, tales como: permitir la variación del tamaño de los componentes; incluir un sistema de almacenamiento basado en baterías; contemplar otras fuentes de generación renovable (en particular, generación eólica).

6.3.1.a.- Descripción de los parámetros utilizados para la caracterización del Caso mejorado

Como ya se ha comentado, la exposición de los tres casos analizados es secuencial, lo que significa que, salvo que se indique lo contrario, la caracterización dada para los componentes del caso anterior sigue siendo válida para este caso. La principal diferencia será que se añaden otros elementos; en este caso mejorado la diferencia viene dada por la presencia de un generador fotovoltaico (FV) de 10 kWp. Los principales aspectos relacionados son el recurso solar y el propio generador FV, cuyos parámetros principales se describen a continuación.

Datos de recursos renovables utilizados: Recurso solar

Se han usado los valores correspondientes al Año Solar Típico de Radiación Global sobre plano horizontal proporcionados por Meteonorm, tal y como se ha explicado en el capítulo correspondiente al análisis de las distintas fuentes de información de radiación solar de este mismo documento. En la siguiente gráfica se muestran los valores mensuales medios.

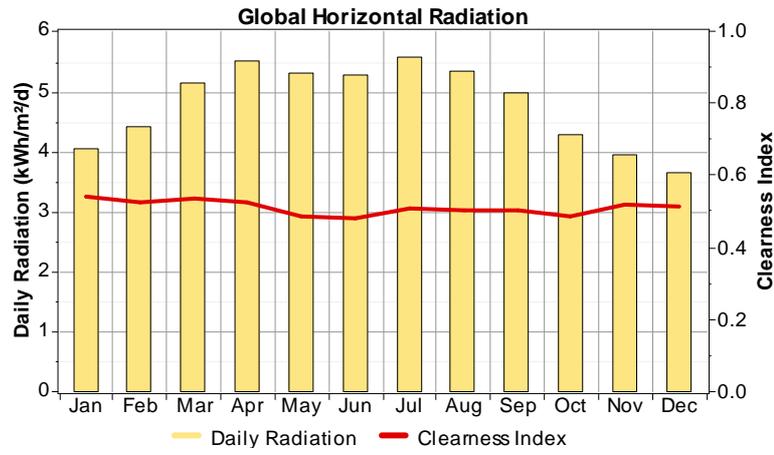


Figura 12. Recurso solar en La Veguera, utilizado en el diseño

- *Temperatura ambiente*

Puesto que en la simulación del comportamiento del generador FV se tendrá en cuenta la influencia de la temperatura ambiente sobre el comportamiento del mismo, se ha utilizado la información proporcionada por el Año Solar Típico proporcionado por Meteonorm. Los valores medios mensuales, así como los rangos mensuales de variación, de la temperatura se muestran en la siguiente Figura:

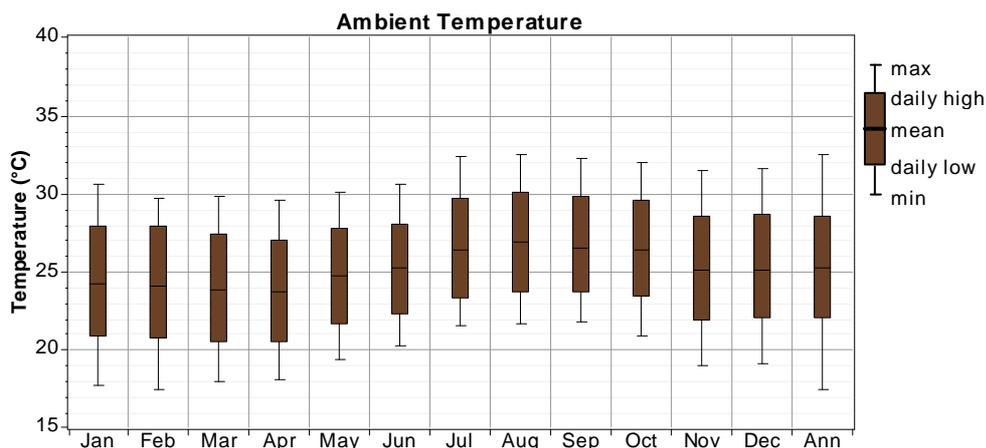


Figura 13. Temperatura ambiente en La Veguera, utilizado en el diseño

Generación fotovoltaica (FV)

Para la caracterización de la generación fotovoltaica se han empleado parámetros similares a los empleados posteriormente en el análisis mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), a saber:

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión	1800	€/kW
Operación y mantenimiento	15	€/kW-año
Vida útil	20	años

Tabla 14: Valores utilizados en la caracterización económica de la generación FV

En cuanto a la caracterización de la generación FV en sí, los parámetros utilizados han sido los siguientes:

Parámetro	Valor	Unidad
Factor de Producción	80	%
Inclinación	20	grados
Orientación	0	Grados
Albedo	20	%
Coefficiente de temperatura	-0.5	%/°C
TONC	47	°C
Eficiencia en STC	13	%

Tabla 15: Valores utilizados en la caracterización técnica de la generación FV

El generador FV se instalará en estructura fija sobre suelo, e irá conectado en el lado de alterna a través de un inversor, cuyo coste y eficiencia ya están incluidos en los datos anteriormente para el generador FV; en concreto, el coste estaría incluido en la Inversión y la eficiencia en el Factor de Producción.

6.3.1.b.- Comportamiento esperado del Caso Mejorado

Comportamiento económico

El LCOE obtenido para este caso sería de 0.804 \$/kWh, lo que supone una leve mejora respecto al caso base. El resumen de costes a lo largo de la vida del proyecto sería el que aparece en la tabla:

Componente	Capital (\$)	Sustitución (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Recuperación (\$)	Total (\$)
Generador FV	18,000	0	761	0	-1,077	17,683
Grupo electrógeno	120,000	62,903	55,798	2,577	11	241,290

Tabla 16: Comportamiento económico del Caso Mejorado

Estos costes totales se desglosan año a año en el Flujo de Caja de la siguiente figura:

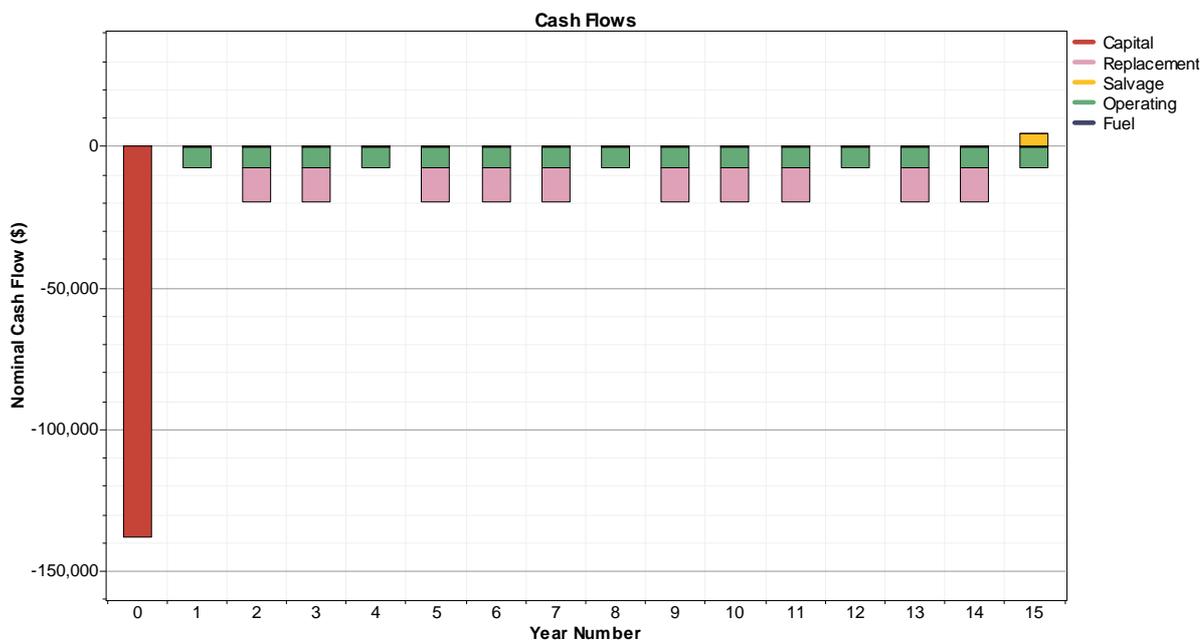


Figura 14. Flujo de caja para el Caso Mejorado

Comportamiento energético

En este caso, los 39420 kWh demandados por la Comunidad anualmente se reparten entre generador FV y grupo electrógeno, de la siguiente manera:

Producción	kWh/yr	%
Generador FV	13,468	31
Grupo electrógeno	30,455	69
Total	43,924	100
Energía consumida	39,420	100
Exceso de electricidad	4,504	10.3

Tabla 17: Reparto de la generación en el Caso Mejorado

En la siguiente tabla se presentan los principales parámetros que caracterizan el comportamiento energético del caso mejorado, con sus comentarios. En este caso, se incluye por un lado el comportamiento del generador FV y por otro lado el del grupo electrógeno.

- Generador FV

Cantidad	Valor	Unidades	Comentarios
Capacidad nominal	10	kW	Establecida de antemano
Potencia media	1.54	kW	Si estuviera a potencia constante
Energía diaria media	36.9	kWh/d	
Potencia mínima	0	kW	De noche
Potencia máxima	8.06	kW	Incluyendo pérdidas
Penetración FV	34.2	%	
Horas de operación	4,351	hr/yr	
Factor de capacidad	15.4	%	
Producción total	13,468	kWh/año	

Tabla 18: Resultados de operación del generador FV en el Caso Mejorado

- Grupo electrógeno

Cantidad	Valor	Unidades	Comentario
Horas de operación	7,336	hr/año	Hay horas solo FV
Número de arranques	554	arranques/año	Gestión de arranque-parada
Vida útil	1.36	años	Altos costes de reposición, todavía
Factor de capacidad	8.69	%	Bajo
Producción eléctrica	30,455	kWh/año	Ya no toda
Potencia media entregada	4	kW	10% potencia nominal
Potencia mínima entregada	0	kW	cuando para
Potencia máxima entregada	15	kW	Incluso la máxima es baja
Producción térmica	93,017	kWh/año	Se aprovecha para secar el marabú
Consumo marabú	67.8	t/año	Casi un 20% de reducción
Consumo específico gas	4.161	kg/kWh	Mucho mayor que el 1.3 nominal
Eficiencia eléctrica media	14.1	%	Baja, lejos del nominal
Eficiencia total media	57.0	%	Mejora sensible

Tabla 19: Resultados de operación del grupo electrógeno en el Caso Mejorado

Los resultados del Caso Mejorado muestran que, en efecto, existe una mejoría en el comportamiento económico y energético al añadir el generador de 10 kWp al Caso Base pero, sobre todo, dejan entrever el gran potencial de mejoría del Caso Optimizado que se analizará a continuación.

6.4 Estudio de optimización del sistema híbrido.

En este diseño optimizado se analiza la configuración que lleva a un comportamiento óptimo desde un punto de vista técnico-económico, incorporando otros criterios en el diseño, tales como: permitir la variación del tamaño del generador FV, incluir un sistema de almacenamiento basado en baterías; contemplar otras fuentes de generación renovable (en particular, generación eólica). En cuanto a la inclusión de la generación hidráulica, no se ha incluido en este análisis al no disponerse de información para su evaluación.

Los principales aspectos nuevos en este Caso Optimizado serán por tanto el recurso eólico y los componentes (generador eólico, batería y convertidor). Se describen a continuación los parámetros principales para su caracterización.

6.4.1.- Descripción de los parámetros utilizados para la caracterización del Caso Optimizado

Modificaciones para los parámetros de los componentes ya expuestos

Salvo para los parámetros que se indiquen en este apartado, la caracterización dada para los componentes del caso anterior sigue siendo válida para este Caso Optimizado. Los parámetros que cambiarían para el caso optimizado hacen relación al grupo electrógeno (como ya se comentó en su momento), y son los siguientes:

- Ratio mínimo de funcionamiento: en este caso, debido a la presencia de un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías, ya no es necesario que el grupo electrógeno siga a la carga en todo momento, pudiendo independizar su funcionamiento de la misma. De hecho, con la presencia de la batería, el grupo electrógeno arrancará cuando la batería está en el límite de descarga permitido (en este caso es del 30 % de la capacidad nominal), y cargará la batería hasta que alcance el estado de carga objetivo (80 % de la capacidad nominal, en este caso). Por lo tanto, el valor del Ratio mínimo de funcionamiento del grupo electrógeno no tiene por qué ser de 0%, como en los dos casos anteriormente analizados, valor que reduce la vida útil del grupo. Se selecciona por lo tanto un valor de 30 % de la potencia nominal del grupo electrógeno como el mínimo valor de carga en el que se permite trabajar al grupo, valor típicamente recomendado por los fabricantes de estos equipos.

- Vida útil: debido a lo expuesto para el cambio del valor del parámetro anterior, la vida útil del grupo se vería alargada por lo que, en lugar de las 10000 horas establecidas para los dos primeros casos, en este tercer caso el valor seleccionado es de 15000 horas.

Datos de recursos renovables utilizados: Recurso eólico

Puesto que en la optimización del diseño del sistema se incluye el análisis de la generación eólica, es necesario caracterizar el recurso eólico en la zona. No hay información concreta sobre el mismo, por lo que se ha recurrido en una primera aproximación a la información proporcionada por el Año Solar Típico proporcionado por Meteonorm. Los valores medios mensuales, así como los rangos mensuales de variación, de la velocidad de viento medida a una altura de 10 metros, se muestran en la siguiente Figura:

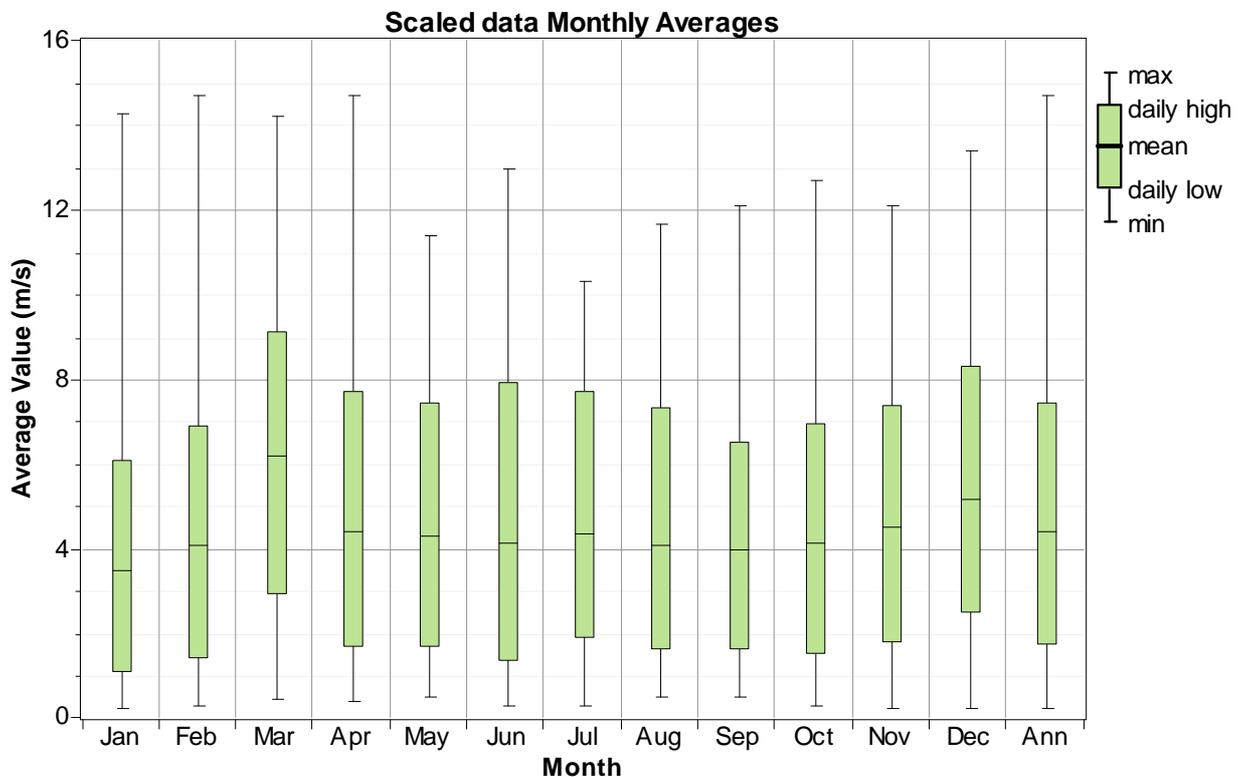


Figura 15. Recurso eólico en La Veguera, utilizado en el diseño

El valor anual medio obtenido de esta serie es de 4.23 m/s a una altura de 10 metros. No obstante, dada la alta incertidumbre existente en esta caracterización del recurso eólico, se incluirá un análisis de sensibilidad para estudiar la influencia de esta variable en la optimización del diseño.

Generación eólica

Los parámetros principales para la caracterización de la generación eólica coinciden con los usados en el capítulo de la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, para mantener la consistencia del análisis. Se ha diferenciado en el valor de los parámetros según el tamaño, salvo en el caso de la vida útil, que se ha considerado de 20 años para todos los tamaños, y de la altura del buje, en la que se considera el valor de 20 metros. Los valores utilizados son:

Parámetro	Valor	Unidad
Aerogenerador 1 kW		
Inversión	3500	€/kW
Operación y mantenimiento	30	€/kW-año
Aerogenerador 50 kW		
Inversión (€/kW)	2000	€/kW
Operación y mantenimiento (€/kW)	20	€/kW-año

Tabla 20: Valores utilizados en la caracterización económica de la generación FV

En nuestro caso, la propia herramienta utilizada hace una interpolación entre ambos valores para potencias intermedias.

En cuanto a la caracterización de la generación eólica en sí, ésta es diferente entre la aplicación SIG y la herramienta HOMER, ya que ésta última dispone de mayor potencia de cálculo, por lo se utiliza la caracterización mediante la curva de potencia del aerogenerador; se reproduce a continuación la curva utilizada (normalizada a 1 kW a 11m/s):



Figura 16. Curva de potencia del aerogenerador, normalizada a 1 kW

Almacenamiento basado en baterías

Para el sistema de almacenamiento se ha propuesto un almacenamiento electroquímico basado en baterías de Plomo-ácido. De nuevo, los parámetros principales para su caracterización coinciden con los usados en el capítulo de la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica. Conviene resaltar que el programa HOMER utiliza un modelo mucho más sofisticado (pudiéndose referir a la Ayuda del programa para una descripción detallada) para reflejar el comportamiento de la batería, que resulta ser el elemento más sensible del sistema, que el que usa la aplicación SIG.

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión	200	€/kWh
Operación y mantenimiento	0	€/kW-año
Profundidad de descarga	0.7	Tanto por 1
Rendimiento energética	0.9	Tanto por 1

Tabla 21: Valores utilizados en la caracterización de las baterías

No obstante, hay dos parámetros utilizados en la aplicación SIG que no se fijan de antemano en la herramienta HOMER, sino que son resultados de la simulación. Estos son:

- Los días de autonomía de la batería: depende de la distribución temporal de la generación y la demanda y su balance energético. En la aplicación SIG toma el valor 2.5 días en el caso de sistema individual, y 1 día en el caso de sistema centralizado.
- La vida útil: depende del número de ciclos, y éstos dependen del uso que se haga de la batería. En la aplicación SIG toma el valor de 5 años.

Convertidor electrónico

Puesto que el sistema dispondrá de componentes que trabajen en continua, como la batería y el generador eólico, y otros que lo hagan en alterna, como el grupo electrógeno o las propias cargas (también el generador FV que se ha supuesto conectado en alterna mediante un inversor), es necesaria la incorporación al sistema de un convertidor electrónico bidireccional que permita el cambio de continua a alterna y viceversa. Usando igualmente los parámetros de la aplicación SIG, se tiene:

Parámetro	Valor	Unidad
Inversión	250	€/kW
Operación y mantenimiento	0	€/kW-año
Tiempo de vida	15	años
Rendimiento medio anual	0.85	Tanto por 1

Tabla 22: Valores utilizados en la caracterización del convertidor

6.4.2.- Comportamiento esperado del Caso Optimizado

Inicialmente se ha dimensionado el sistema óptimo para la configuración del Caso Optimizado anterior (grupo electrógeno con generador FV) al que se le añade un convertidor con un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías, tal y como se representa en el siguiente esquema:

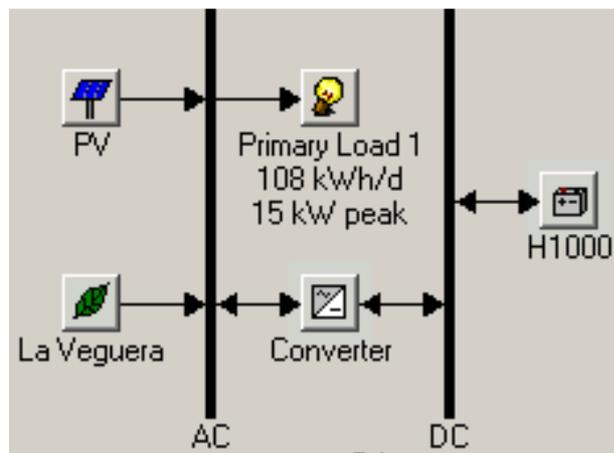


Figura 17. Esquema sistema Caso Optimizado inicial.

El menor LCOE obtenido para este caso, sería de **0.637** \$/kWh, lo que supone una importante mejora respecto al caso base (cuyo LCOE era de 0.811 \$/kWh). La configuración del caso óptimo incluye:

- Grupo electrógeno de 40 kW, el mismo del Caso Base. Puesto que este componente ya existe en La Veguera, se ha mantenido su presencia en los tres casos analizados.
- Generador FV de 6 kW.
- Batería de 100 kWh.
- Convertidor electrónico de 20 kW.

Se ha incluido también la posibilidad de incluir generación eólica pero, dado que ésta presenta ciertas incertidumbres fundamentalmente relacionadas con el recurso eólico disponible en el emplazamiento, se ha realizado un análisis de sensibilidad respecto a esta variable, para analizar su influencia sobre el diseño de la instalación, que se presenta a continuación.

Análisis de la influencia de la velocidad de viento sobre el dimensionado del sistema optimizado

Se ha realizado un análisis de sensibilidad de la velocidad de viento en el emplazamiento para comprobar qué velocidad media de viento sería necesaria para la solución óptima fuera la descrita anteriormente, y cómo influiría sobre el dimensionado (sobre el tamaño de la generación FV y sobre el LCOE) el hecho de que la velocidad de viento fuera mayor.

En la siguiente gráfica se presenta la influencia de la velocidad de viento media en el emplazamiento sobre el tamaño de la generación FV en la configuración óptima:

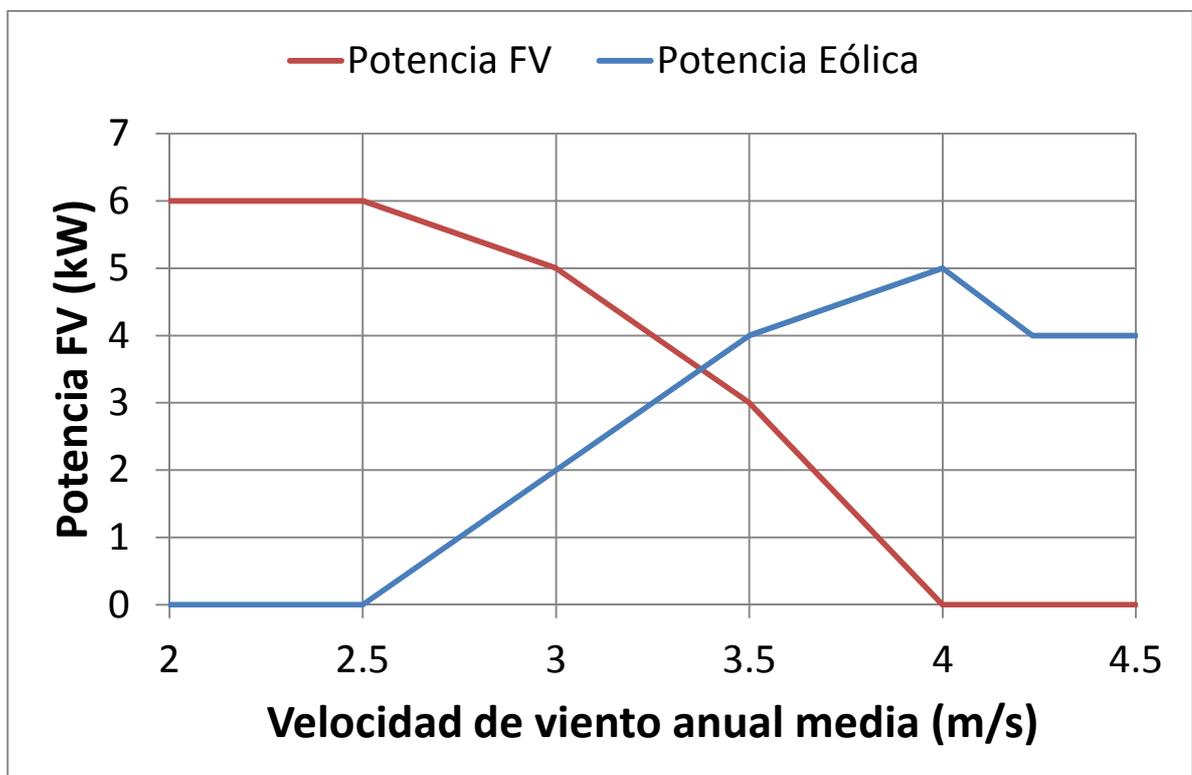


Figura 18. Variación de la generación FV y eólica en función de la velocidad de viento

Puede verse que, para velocidades anuales medias de viento menores de 2.5 m/s, la configuración óptima incluiría 6 kW de potencia FV, correspondiéndose por lo tanto con el diseño presentado inicialmente (que no incluye generación eólica). A partir de esa velocidad media, la presencia de la generación eólica se va haciendo cada vez más presente, en detrimento de la generación FV, que iría disminuyendo progresivamente de tamaño a medida que la velocidad de viento anual media aumentase. Finalmente, si la velocidad de viento anual media fuera superior a 4 m/s, el sistema óptimo no incluiría generación FV, sino sólo eólica.

En la siguiente gráfica se muestra cómo influiría este parámetro sobre el LCOE del sistema óptimo resultante:

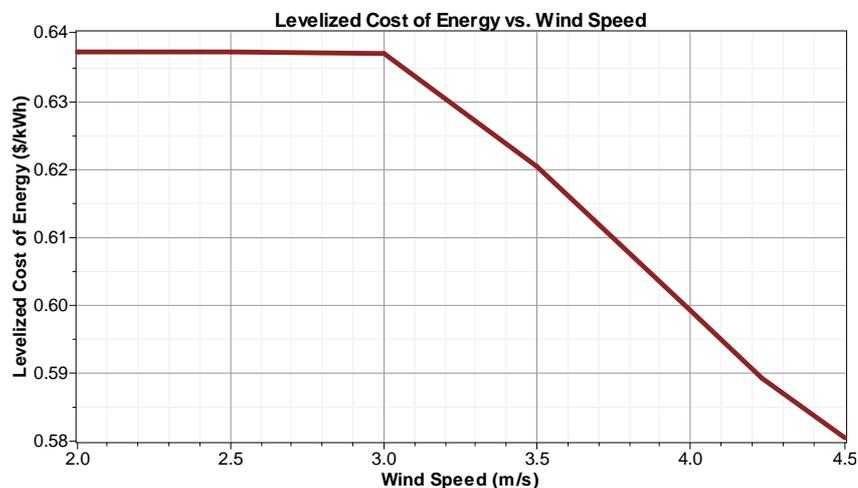


Figura 19. Variación de la generación FV y eólica en función de la velocidad de viento

Puede verse que, si el recurso eólico fuera lo suficientemente bueno, el LCOE del caso optimizado podría ser todavía más favorable del caso presentado (0.637 \$/kWh, correspondiente al caso sin generación eólica, que se corresponde en la gráfica con velocidades de viento anuales medias menores de 2.5 m/s).

Aunque la velocidad de viento anual media de la serie de datos del año meteorológico típico con la que se ha trabajado es de 4.232 m/s y, por lo tanto, correspondería con un diseño en el que no se incluye generación FV y sí eólica, se ha preferido dejar el diseño del Caso Optimizado en este punto, a la espera de poder disponer de datos de la caracterización del recurso eólico en el emplazamiento más precisos. Una vez se disponga de esta información entonces se procederá a precisar más el dimensionado en concordancia con dicha información.

Bibliografía

1. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), Nippon Koei Co., Ltd., West Japan Engineering Consultants, Inc. 2016. Estudio para la Recolección de Datos sobre el Sector de Electricidad en la República de Cuba, Ministerio de Energía y Minas Informe Final Marzo de 2016 República de Cuba,
2. Carbonell T., Roca V., Fernández L., 2014. Hydrogen from Renewable Energy in Cuba, *Energy Procedia* 57, 867 – 876
3. Curbelo A., Garea B. 1996 “Contribución de la biomasa no cañera a la generación de electricidad en Cuba” Memoria - Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa Serie Forestal No 7 Santiago, Chile, 1996 <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0i.htm>
4. Decreto Ley nº 345 de Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía de 23 de marzo de 2017
5. Jimenez O., Curbelo, A., Suarez, Y. 2012 Biomass based gasifier for providing electricity and thermal energy to off-grid locations in Cuba. Conceptual design. *Energy for Sustainable Development*, vol. 16, 1, 98-102.
6. Lesme-Jaén, R., Garcia-Faure, L., Oliva-Ruiz, L., Pajarín-Rodríguez, J., Revilla-Suarez, D., 2016. Gasificación de biomasa para la generación de electricidad con motores de combustión interna. Eficiencia del proceso *Revista Tecnología Química* [online]. vol.36, .2, 133-144.
7. Proenza N, Blanco E., Travieso D., Roberts J.J., Santana J., Luz J. 2015. Biomass gasification for combined heat and power generation in the Cuban context: Energetic and economic analysis *Applied Thermal Engineering* 90, 1-12
8. Rodríguez, A., 2016 La Gasificación en Cuba, Primer Taller sobre la Cogeneración con Sistemas Híbridos par Electrificación Rural: Introducción a las Energías Renovables, Sistemas de Información Geográfica y Gasificación de Biomasa, 21-24 de Junio de 2016, Guamá, Cuba.
9. Travieso D., Cala R., 2005. Gasification of biomass for electricity generation in the Cuban context University of Camagüey, Thermal Process of Biomass Research Group *Rev. ciênc. exatas*, Taubaté, v. 11, 1, 55--57.
10. Travieso D., Cala R. 2007 Perspectivas de la generación de electricidad en Cuba a partir de la gasificación de biomasa energética Vol. XXVIII, No. 3/2007
11. SODEPAZ, 2012. Video: Proyecto Biomasa Marabu (CUBA), YouTube, Publicado el 11 feb. 2012 por SODEPAZ. <https://www.youtube.com/watch?v=br7z4poJStE>
12. Toledano Gómez, I.M. 2009. Evaluación del potencial y Diseño de un Sistema Híbrido para la comunidad rural La Escondida, Guantánamo, Cuba. PROYECTO DE FIN DE MASTER, UNIVERSIDAD DE VIGO. MASTER EN ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD
13. Romero Otero, L. 2016. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y ELECTRIFICACIÓN RURAL. ANALISIS, DESARROLLO Y ESTUDIO DE CASO CON INTIGIS. Trabajo de Fin de Máster. UCM - FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA. MASTER EN TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Capítulo 7. Evaluación del coste de electrificación y análisis de las condiciones locales en el área de diagnóstico. (Javier Domínguez²⁰ y Luciano Sanz²¹).

Descripción del área de diagnóstico (Guama, Santiago de Cuba).

Guamá es un municipio cubano situado en la parte suroriental de la isla. Este municipio pertenece a la provincia de Santiago de Cuba, la segunda provincia más poblada del país, estando situado en su parte más suroccidental. La provincia está integrada por nueve municipios con un clima muy variable, oscilando las precipitaciones entre 700 mm anuales en la parte suroriental y 3.000 mm en las cumbres de Sierra Maestra (Rodríguez, 2012).

Guamá limita al este y al noreste con la provincia a la que pertenece, Santiago de Cuba, al norte y al oeste con la provincia de Granma y al sur con el mar Caribe. El municipio tiene un importante desarrollo longitudinal, abarcando 175 kilómetros de este a oeste, y apenas 18 kilómetros de norte a sur (Pinedo, 2007). Guamá se asienta principalmente entre la costa y la cara sur de Sierra Maestra, por lo que en general, a excepción de la zona costera, su territorio es muy escarpado, siendo su mayor altura el Pico Turquino, con 1.974 metros sobre el nivel del mar, que es también, la mayor altura del país. Debido a estas características, su notable longitud, la cercanía de la serranía al mar y un clima especialmente seco por encontrarse el municipio en la cara sur de Sierra Maestra, Guamá tiene numerosos ríos de corto recorrido y escaso caudal (estacionales), como curiosidad comentar que Guamá es el municipio cubano con mayor número de cursos fluviales (y puentes) (Rodríguez, 2012).

Paralela a la costa de Guamá y a unos cuantos kilómetros mar adentro se encuentra la fosa oriental, donde se ubica una falla transformante que separa las placas de Norteamérica y el

²⁰ División de Energías Renovables (CIEMAT)

²¹ Master TIG (UCM)

Caribe. La presencia de dicha falla es causa de los numerosos terremotos que periódicamente se producen en la zona²².

La configuración topográfica del municipio se puede dividir en dos áreas principales, laderas con orientación sur al norte del municipio y planicies paralelas a la costa al sur. Por este motivo, la mayoría de la población (35.949 habitantes en 2004) se concentra en las llanuras del sur, principalmente al este del municipio. La capital, Chirivico, se encuentra situada en la costa en el centro del municipio y es la localidad más poblada, seguida de Uvero, situada también en la zona costera un poco más al oeste. La organización administrativa del municipio de Guamá está configurada por 10 Consejos Populares, a saber: Caletón Blanco, Aserradero, Playa Larga, El Francés, Madrugón, Chirivico, Uvero, Ocujal, La Plata y Bahía Larga.



Figura 7.1: Consejos populares del municipio de Guamá. De izquierda a derecha son La Magdalena, La Plata, Ocujal, Uvero, Bahía Larga, Chirivico, Madrugón, El Francés, Aserradero y Caletón Blanco. Fuente: Rodríguez Gámez (2012)

Debido a la configuración topográfica anteriormente mencionada, tanto las vías de comunicación, como la red eléctrica se han construido en paralelo a la costa (dirección este-oeste) para dar servicio a las áreas más pobladas. Esta situación ha propiciado que numerosas

²² Precisamente esta vulnerabilidad a los fenómenos naturales hace, entre otros motivos, que el municipio sea un buen laboratorio para la implantación de energías renovables.

comunidades rurales del interior no tengan acceso al suministro eléctrico y que las vías de comunicación para acceder a las mismas sean o muy precarias o inexistentes.



Figura 7.2: Cursos fluviales, carreteras y tendido eléctrico. Fuente: Pinedo (2007)

Además de su aislamiento por la topografía y las vías de comunicación, estas comunidades del interior presentan un doble reto para su electrificación, por un lado son comunidades pequeñas con escasa población, y por otro lado, son asentamientos muy dispersos en el territorio.

Las características físicas del municipio de Guamá condicionan la electrificación de su territorio, especialmente en lo referido al aprovechamiento de sus recursos naturales para la generación de electricidad. Debido a lo disperso de su población, su accidentada orografía y su clima seco y soleado, parece que a priori, la opción más viable para electrificar gran parte de las comunidades rurales de Guamá sería un sistema fotovoltaico individual. Aun así, el 23% de la población de Guamá está electrificada con fuentes renovables de energía, siendo el sistema hidroeléctrico el que más peso tiene, a pesar del clima que caracteriza a este territorio.

Marco de desarrollo del estudio: aplicación de IntiGIS.

En el estudio sobre “*La Energización Rural en Cuba*” publicado por CUBASOLAR se afirma: “Las opciones para la energización rural remota y de zonas montañosas y difícil acceso, se deben seleccionar tomando en consideración las fuentes locales de energía renovable disponibles, la calidad y cantidad de la demanda de portadores energéticos necesarios para

satisfacerlas, el impacto político, social, económico, ambiental y el desarrollo a corto mediano y largo plazo, en comparación con soluciones convencionales reales equivalentes y desde luego, tomando en cuenta los recursos financieros y materiales disponibles en el tiempo”, es desde esta perspectiva, que el programa IntiGIS²³, debido a sus características metodológicas, puede resultar una herramienta de gran utilidad a la hora de realizar cualquier proyecto de electrificación de las áreas rurales de este municipio.

Al abordar esta fase final del proyecto HYBRIDUS, consistente en el análisis de las características de todo un municipio para evaluar la implantación de energías renovables, se eligió como se ha avanzado la opción de utilizar IntiGIS. Esta elección se basó tanto en lo anteriormente apuntado como en la aplicación previa de esta herramienta en la evaluación del municipio (2005).

En este marco se decidió desarrollar un nuevo estudio, actualizando los valores tanto de las poblaciones como de las tecnologías, que sirviese como punto de comparación y complemento a los estudios y estrategias que se han desarrollado a lo largo del proyecto.

Elaboración de una nueva base de datos geográfica de Guamá.

Este punto ha sido, quizás, el más laborioso del proyecto, especialmente en lo referido a los nuevos datos para el segundo análisis del caso de Guamá. Hay que tener en cuenta que los ámbitos de aplicación de IntiGIS son zonas rurales de países en vías de desarrollo, donde por lo general la información existente sobre esos sitios suele ser muy pobre, y la recogida de nueva información, muy complicada.

El primer caso de estudio se realizó con la primera versión de IntiGIS, para ello se utilizaron las capas e información originales del caso de Guamá. Una vez realizado el análisis

²³ IntiGIS es un sistema de información geográfica desarrollado por el CIEMAT para evaluar el coste de electrificación equivalente (LEC) de una serie de tecnologías de electrificación rural. Para una profundización en su conocimiento y manejo se recomienda la consulta del texto de Irene Pinedo (2007), así como el manual del CIEMAT (2011).

con IntiGIS se procedió a crear un visor en ArcGIS Online para presentar los resultados, del cual se hablará más adelante.

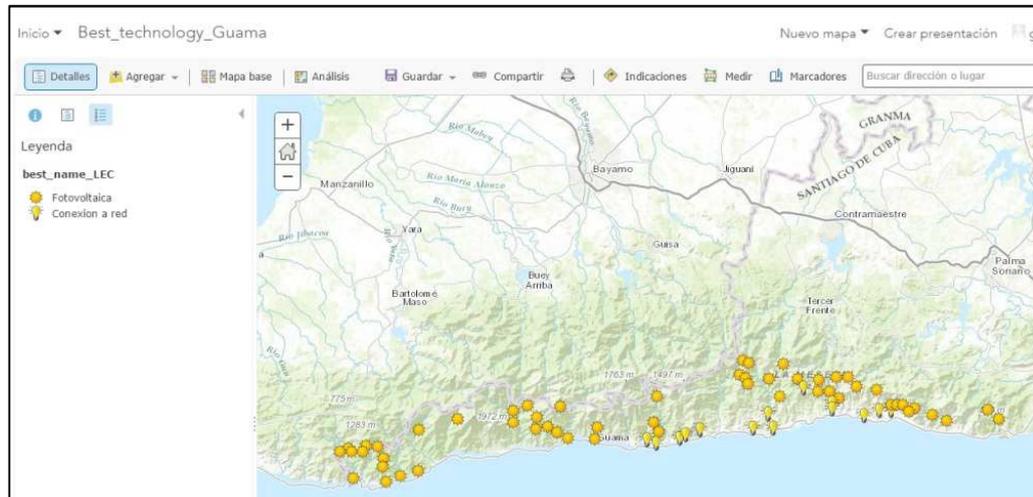


Figura 7.3: Imagen con los resultados del primer análisis en el visor de ArcGIS Online.

Los datos utilizados durante el primer análisis son datos que ya estaban creados de antemano en proyectos anteriores. En cambio los nuevos datos se han tenido que tratar para su posterior utilización durante el análisis. De estos datos, podemos diferenciar entre información cartográfica y parámetros técnicos.

Información cartográfica: Esta información corresponde a los mapas requeridos para generar los mapas bases necesarios para realizar el análisis con IntiGIS. Con la información original depurada, quedaron las dos capas necesarias para comenzar el análisis con IntiGIS, estas capas son:

Capa de construcciones: En esta capa se muestran los distintos edificios existentes en Guamá, hubo que transformar la capa original, compuesta por polígonos, a una capa de puntos que es con la que trabaja IntiGIS.

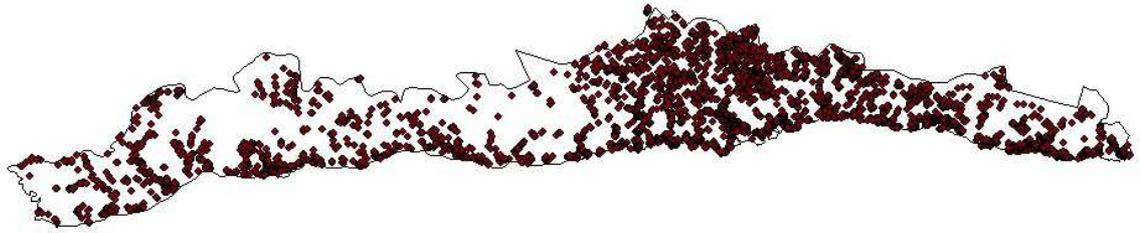


Figura 7.4: Muestra de la capa de construcciones

Capa de la línea de media tensión SEN: Esta capa se creó a partir de la capa de carreteras (ya que la capa que representa la línea eléctrica, estaba incompleta), y que la línea SEN va paralela a la carretera que cruza el municipio de este a oeste, actualizándola y completándola con información de campo.

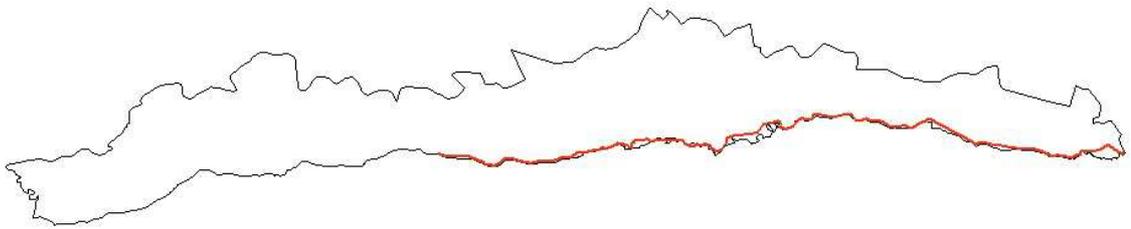


Figura 7.5: Muestra de la capa de la línea de media tensión SEN.

Se decidió utilizar la capa de edificaciones en lugar de la capa de asentamientos para el cálculo de la demanda, debido a que esta capa representa mejor la realidad geográfica del municipio que la capa de asentamientos debido a la dispersión poblacional existente. Como se puede ver en las imágenes que se muestran a continuación, la capa de demanda generada desde la capa de asentamientos no refleja una dispersión de la población por el territorio, a diferencia de la capa de construcciones:

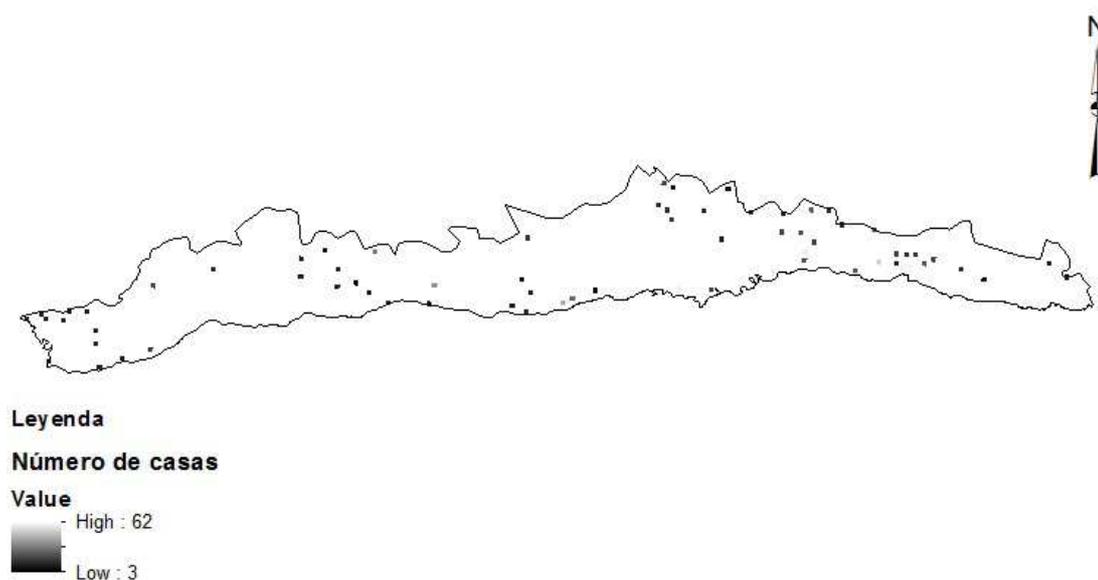


Figura 7.6: Mapa de localización de la demanda generado con IntiGIS desde la capa de asentamientos.

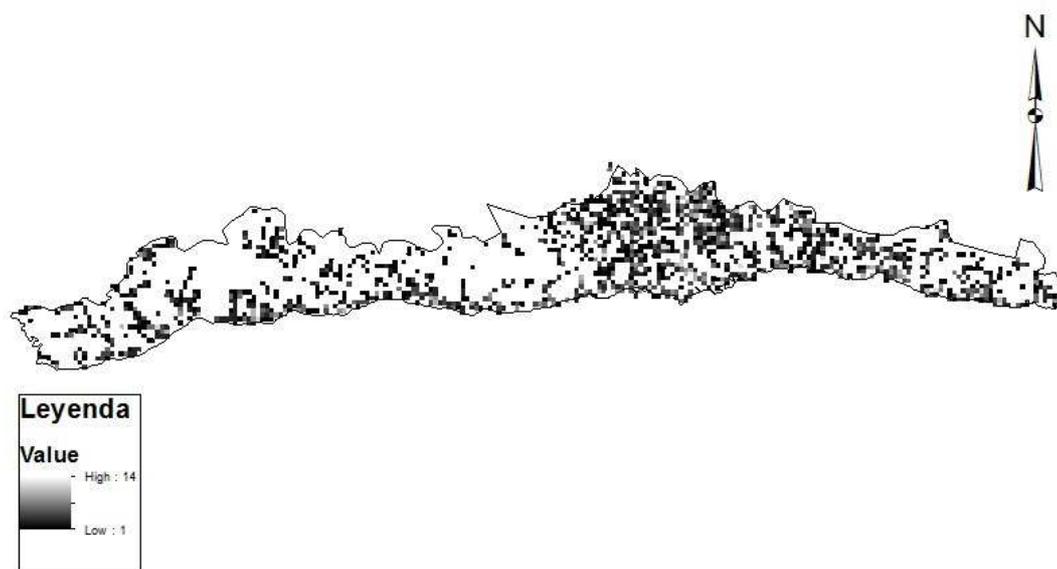


Figura 7.7: Mapa de localización de la demanda generado con IntiGIS desde la capa de edificios.

En el mapa anterior se muestra un territorio con una alta dispersión de la población y una baja densidad demográfica, ya que el píxel (con una resolución de 500 metros) más poblado tiene un registro de 14 casas. Gracias al conocimiento que se tiene del territorio a analizar, se sabe que esto se aproxima más a la realidad de Guamá. Aun así, cabe mencionar que a pesar de tener una información más precisa, esta no se ajusta completamente a la realidad, ya que los

polígonos representados en la capa de construcciones no coinciden en todos los casos con las casas e infraestructuras presentes en la realidad, como se puede ver en la siguiente figura, la cual es una imagen de satélite con la capa de construcciones superpuesta.



Figura 7.8: Imagen de satélite con la capa de infraestructuras superpuesta.

Con los datos cartográficos preparados, la capa de infraestructuras, la de longitud de la línea eléctrica, de radiación solar y de viento, se procedió a generar con IntiGIS la cartografía necesaria para comenzar el análisis, esta cartografía es la siguiente:

Mapa de densidad de la demanda: ráster generado a partir de la capa de construcciones. Este mapa recoge el número de viviendas por píxel.

Mapa de línea de baja tensión: Este mapa es necesario si se evalúan sistemas centrales y se genera a partir de la capa de construcciones. Este ráster muestra la longitud media de la línea de baja tensión necesaria para conectar cada casa a un transformador que se supone ubicado en el centro del píxel.

Mapa de distancia a la red eléctrica: Mapa obligatorio en el caso que se evalúe la conexión a la red eléctrica, se genera a partir del mapa de la línea de media tensión. Muestra la distancia que hay desde cada punto del área de estudio hasta la red eléctrica de media tensión.

Además de toda esta cartografía también hay que añadir al análisis, en el caso que se vaya a estudiar las tecnologías de electrificación con componente solar o eólico, los mapas de

radiación solar y de velocidad del viento. En el caso del mapa de radiación solar se utilizará el mapa empleado en el primer análisis ya que es perfectamente válido, pero en cambio, el mapa de recurso eólico presenta problemas al no tener una fuente de información al respecto. Por este motivo, y a efectos de simulación, se tomó como valor para todo el territorio una velocidad media anual de 4,5 m/s.

Este dato es poco realista si se tiene en cuenta lo mencionado en la descripción del área de estudio: es un territorio bastante extenso y montañoso que comprende las máximas altitudes del país, esto induce a pensar que la velocidad del viento no va a ser constante en todo su territorio. Esta situación es debida a la resolución de los datos, siendo esta muy baja, píxeles de 1 grado por 1 grado, que en estas latitudes equivale aproximadamente a 104 kilómetros de este a oeste y a 110 kilómetros de norte a sur. Por este motivo esta capa puede ser válida para comprobar que el análisis del recurso eólico funciona, pero no para realizar un análisis representativo de la realidad territorial del municipio de Guamá. Para ello se procedió a descargar e instalar un programa llamado Meteonorm, el cual es una base de datos meteorológicos mundial dirigida al desarrollo de fuentes renovables de energía, pero los valores de velocidad del viento que aporta este programa son igualmente demasiado bajos para el conjunto de la región, 3.7 m/s como velocidad máxima en su zona más alta mientras que en las zonas costeras el valor descendía a 3.3 m/s. Por esto, se decidió utilizar la información de velocidad del viento suministrada por la página web de la NASA²⁴. Estos datos dan una velocidad del viento superior a la que se utilizó en el primer análisis, de 5.27 m/s medida a 10 metros sobre la superficie. A pesar de que también se trata de un mapa plano, tras analizar los distintos se llegó a la conclusión de que la información de la NASA sería la más adecuada para dar representatividad al recurso eólico. Además se justificó el empleo de un mapa plano por la compensación en el potencial eólico mediante la relación existente entre la altura, la velocidad del viento y la densidad del aire. Al aumentar la altura aumenta la velocidad del viento, debido principalmente a que el rozamiento con la superficie terrestre es menor, pero por otro lado, al aumentar la altitud disminuye la densidad del aire, por tanto disminuye también el potencial eólico.

24 <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi> Acceso 28/09/17

Una vez que se tienen los mapas necesarios para comenzar el análisis, se puede dar por completado el proceso de obtención de la información cartográfica.

Información técnico-económica: Esta información es la correspondiente a todos los parámetros técnicos que se van a utilizar, junto con la información cartográfica, en los cálculos necesarios para conocer la demanda residencial de electricidad anual y diaria y el LEC de cada tecnología. Los datos utilizados en el primer análisis se comprobaron que estaban desactualizados y eran poco realistas en el contexto actual, por lo que se procedió a realizar una profunda revisión de los datos técnicos.

Los cambios realizados fueron principalmente de carácter económico, como por ejemplo, el precio de los módulos fotovoltaicos, de los aerogeneradores, el coste de inversión en las baterías, la tarifa eléctrica en Cuba, precio del combustible, etc. Una vez obtenida la información técnica se procedió a crear un nuevo archivo .xml actualizado para su posterior uso en el análisis con IntiGIS.

<i>Parámetros</i>	<i>Original (2005)</i>	<i>Nuevo (2016)</i>
GENERALES		
Económicos		
Tasa de descuento	0.04	0.1
Precio del diésel (€/L)	0.015	0.6
Tarifa eléctrica (€/kWh)	0.007	0.2
Baterías		
Inversión (€/kWh)	80	200
Inversores		
Tiempo de vida	6	15
SISTEMA FOTOVOLTAICO INDIVIDUAL		
Paneles		
Inversión (€/kW)	4000	1800
Operación y mantenimiento (€/kW)	100	15
SISTEMA EÓLICO INDIVIDUAL		
Parámetros generales		
Altura de medida de la velocidad del viento (m)	15	10
Mini-aerogenerador		
Inversión (€/kW)	6000	3500
Operación y mantenimiento (€/kW)	120	30
SISTEMA DIÉSEL INDIVIDUAL		
Generador diésel		
Inversión (€/kW)	380	400

SISTEMA DIÉSEL CENTRAL		
Generador diésel		
Inversión (€/kW)	114	400
CONEXIÓN A RED		
Línea de media tensión		
Inversión (€/km)	12000	21500
SISTEMA EÓLICO-DIÉSEL		
Parámetros generales		
Altura de medida de la velocidad del viento (m)	15	10
Mini aero-generador		
Inversión (€/kW)	0	2000

Tabla 7.1: Comparación de los valores de las tecnologías para los dos casos de estudio.

Análisis y comparación de los resultados obtenidos en los dos casos de estudio.

En el primer análisis (2005) realizado con IntiGIS se puede ver una clara prevalencia del sistema fotovoltaico individual en gran parte de las comunidades analizadas. Únicamente se observa un resultado diferente, conexión a la red ya existente, en los casos que están situados cerca de la línea de media tensión.

Una vez obtenidos los nuevos datos (2016), se procedió a realizar un nuevo análisis, siendo los resultados muy similares a los del primero, pero con algunas diferencias. En este segundo análisis, como ya se explicó en el tema anterior los resultados reflejan de forma más realista la realidad territorial de Guamá, y también se puede apreciar un aumento de las zonas que estarían conectadas a la red, por supuesto esto es una consecuencia lógica de haber expandido la red eléctrica. A parte de estas sutiles diferencias, los sistemas de electrificación más adecuados, según este análisis, siguen siendo el fotovoltaico para casi todo el territorio de Guamá y la conexión a red en el caso de las zonas a menos de 800 metros de distancia de la línea de media tensión.

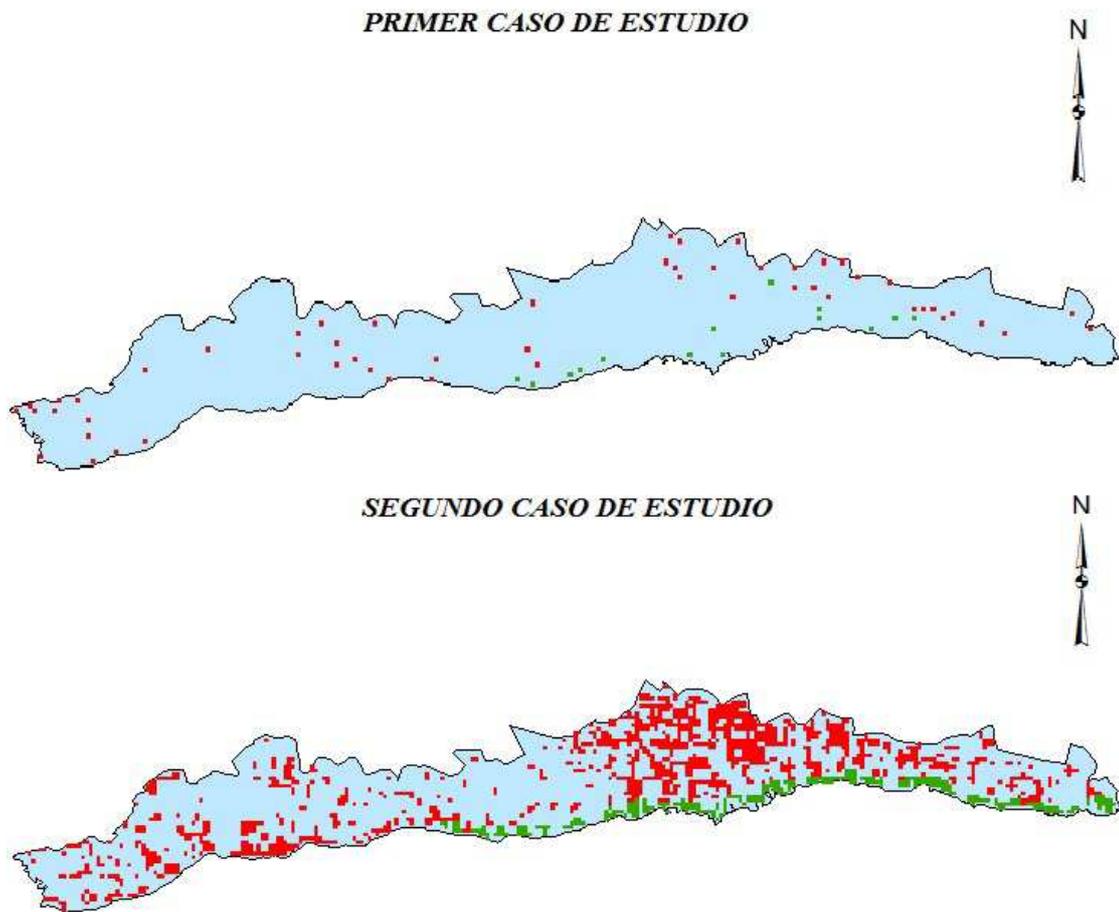


Figura 7.9: Resultados de las tecnologías más competitivas (rojo fotovoltaica y verde conexión a red).

Así mismo también es importante hacer un estudio comparativo de los LEC para cada subsistema, para ello se tomarán como referencia los resultados de la comunidad tipo. Las comunidades tipo muestran los resultados medios del análisis, es decir, el LEC de un determinado subsistema en una comunidad tipo será la media de todos los LEC obtenidos durante el análisis de ese subsistema.

<i>Subsistema</i>	<i>2005</i>	<i>2016</i>
SIST. FOTOVOLTAICO		
INDIVIDUAL	62.4 cts €/kWh	93.6 cts €/kWh
SISTEMA EÓLICO		
INDIVIDUAL	80.1 cts €/kWh	100.1 cts €/kWh
SISTEMA DIÉSEL INDIVIDUAL	282.9 cts €/kWh	369.7 cts €/kWh
SISTEMA DIÉSEL CENTRAL	145.1 cts €/kWh	231.8 cts €/kWh
CONEXIÓN A RED	303.9 cts €/kWh	3079 cts €/kWh
SISTEMA EÓLICO-DIÉSEL	117.2 cts €/kWh	227.3 cts €/kWh

Tabla 7.2: Los distintos LEC en la comunidad tipo de cada subsistema.

La subida más fuerte se ha dado en el caso de conexión a red. En este caso no se puede aplicar la lógica empleada en los otros subsistemas, sólo se aplicaría la subida en la tasa de descuento como factor común con los otros subsistemas. En este caso la subida se explica por el aumento de la tarifa eléctrica (de 0.007 €/kWh a 02€/kWh) y por la notable subida en los costes de construcción de la línea de media tensión, siendo en el primer caso de estudio de 12000 €/km y pasando en el segundo caso de estudio a 21500 €/km. No hay que olvidar que los datos obtenidos en el segundo análisis son, en principio más realistas, ya que, como se explicó en el tema anterior, se ha realizado una revisión de los parámetros económicos obteniendo datos sobre el terreno y mediante la opinión de expertos.

Para ilustrar de manera más gráfica lo comentado hasta ahora, se ha elaborado la figura 7.10, donde se puede observar los distintos LEC de cada subsistema con los gastos desglosados que genera cada uno de ellos.

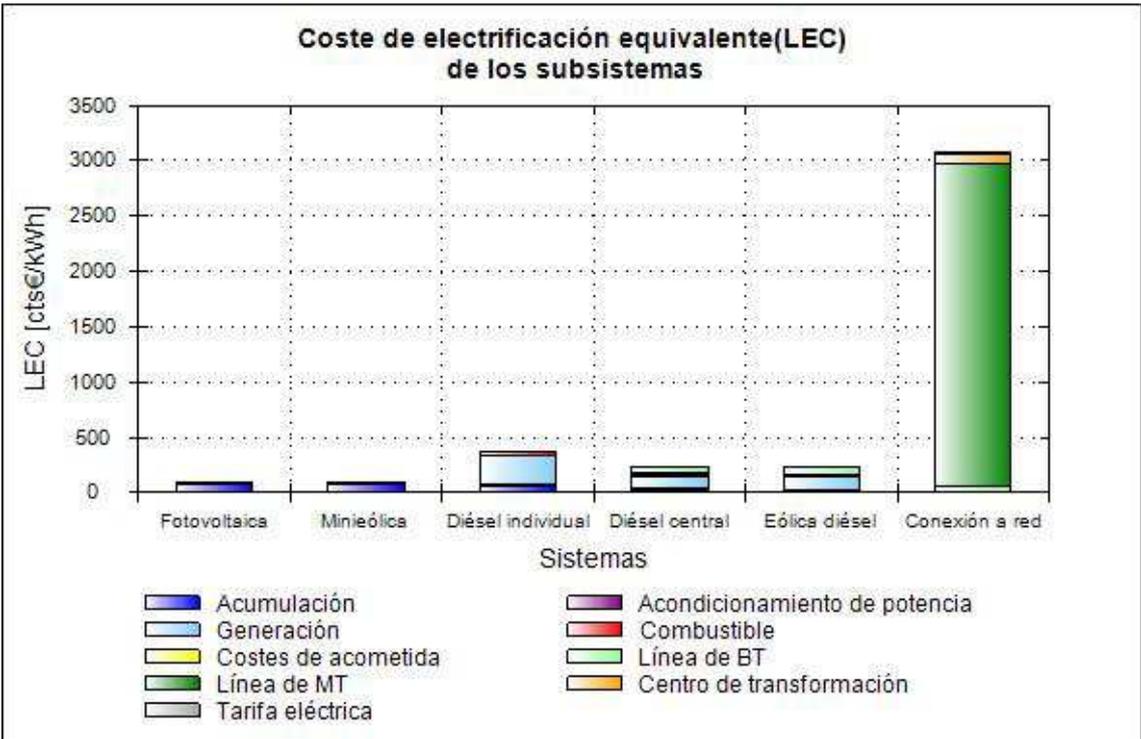


Figura 7.10: LEC de cada subsistema, desglosados en los distintos costes. Fuente: IntiGIS.

El gráfico anterior es útil para comparar la diferencia entre los LEC, pero apenas se pueden apreciar los distintos gastos que componen cada LEC, para ello se ha elaborado la figura 7.11, que muestra los valores en porcentaje de los distintos costes de cada subsistema.

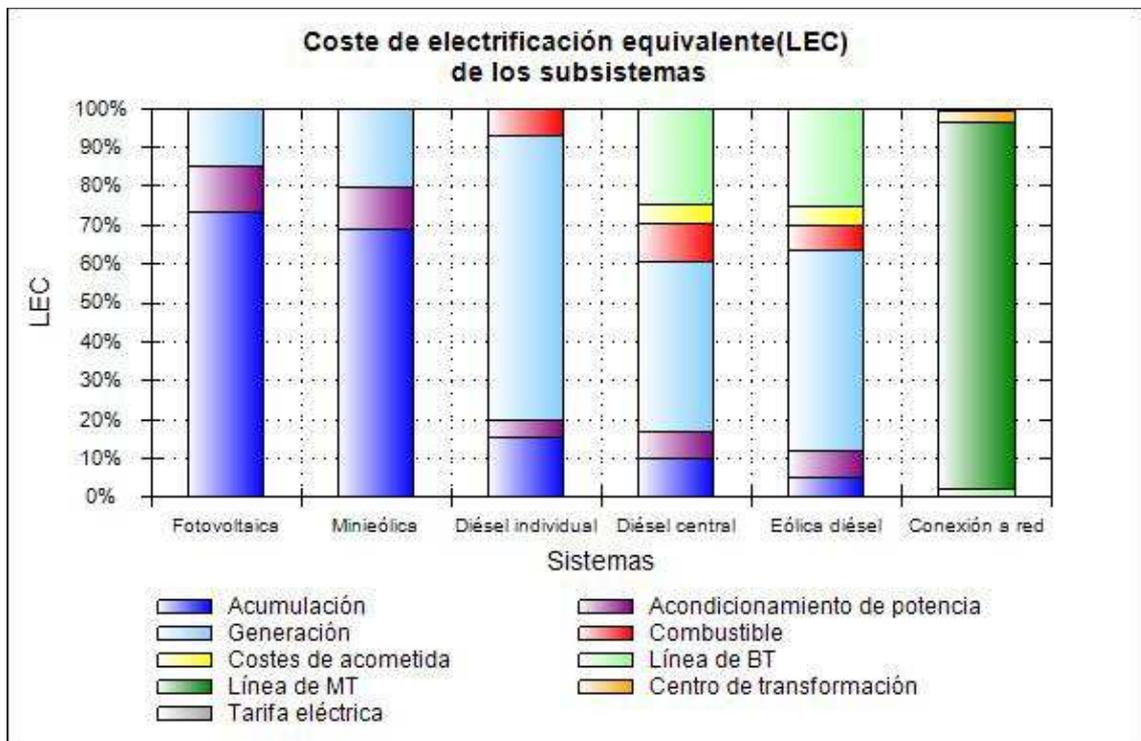


Figura 7.11: Porcentaje de los distintos costes de cada subsistema sobre el total del LEC. Fuente: IntiGIS.

Este último gráfico demuestra lo dicho anteriormente acerca del aumento de los LEC en las diferentes tecnologías, los gastos en acumulación (es decir, las baterías) suponen casi el 70% del gasto en las opciones domésticas renovables, mientras que en las opciones en las que existe un generador eléctrico (diésel) cobra especial relevancia la generación de la electricidad, esto es algo lógico si se tiene en cuenta el consumo de combustible del generador diésel. En los sistemas centrales se ve que el peso en el LEC de la línea de baja tensión es muy parecido al coste de generación, lo que también explica la subida anteriormente mencionada. Por último, y es el caso más gráfico que ilustra la enorme subida en los precios de la conexión a red, es muy llamativo el peso que tiene en el coste total la acometida de la línea de media tensión, por lo que al variar de forma tan sustancial el precio por kilómetro construido de línea de media tensión, explica perfectamente la enorme diferencia entre el primer caso de estudio y el segundo.

Además de los motivos anteriormente expuestos es muy notable la influencia que tiene sobre los valores económicos la tasa de descuento, en la tabla 7.3 se pueden comparar los

distintos LEC obtenidos según la tasa de descuento esté al 4% o al 10%. Se puede observar, que en el caso del sistema eólico individual, el LEC baja por debajo incluso del LEC obtenido en el primer caso de estudio (80.1 cts €/kWh).

<i>Tecnología</i>	<i>LEC (TD 4%)</i>	<i>LEC (TD 10%)</i>
SIST. FOTOVOLTAICO		
INDIVIDUAL	74.6 cts €/kWh	93.6 cts €/kWh
SISTEMA EÓLICO		
INDIVIDUAL	79.3 cts €/kWh	100.1 cts €/kWh
SISTEMA DIÉSEL		
INDIVIDUAL	326.5 cts €/kWh	369.7 cts €/kWh
SISTEMA DIÉSEL		
CENTRAL	186 cts €/kWh	231.8 cts €/kWh
CONEXIÓN A RED	174.9 cts €/kWh	3079 cts €/kWh
SISTEMA EÓLICO-DIÉSEL	215.8 cts €/kWh	227.3 cts €/kWh

Tabla 7.3: Comparación de los LEC obtenidos en el segundo caso de estudio según una tasa de descuento al 4% y otra al 10%.

Publicación en línea de los resultados.

ArcGIS Online es una plataforma en línea desarrollada por ESRI, destinada a que los usuarios de ArcGIS puedan publicar y difundir la información cartográfica con la que trabajan en el software de ESRI. El principal formato admitido por ArcGIS Online, y por lo tanto usado por la mayoría de usuarios, es el formato vectorial de ArcGIS (.shp), para ello hay que crear un archivo .zip que contenga distintos archivos requeridos de la capa vectorial a publicar en la plataforma.

Por este motivo, la información publicada en el geoportal creado para el presente proyecto, está toda ella en formato vectorial. Se han incluido las capas de radiación solar, tendido eléctrico, resultados del análisis, capa de recurso eólico, etc. para el análisis con la nueva información. Así mismo, también se ha creado otro geoportal con los resultados del primer análisis. Se han creado dos geoportales distintos para cada análisis para que su visualización y comprensión sea más sencilla.

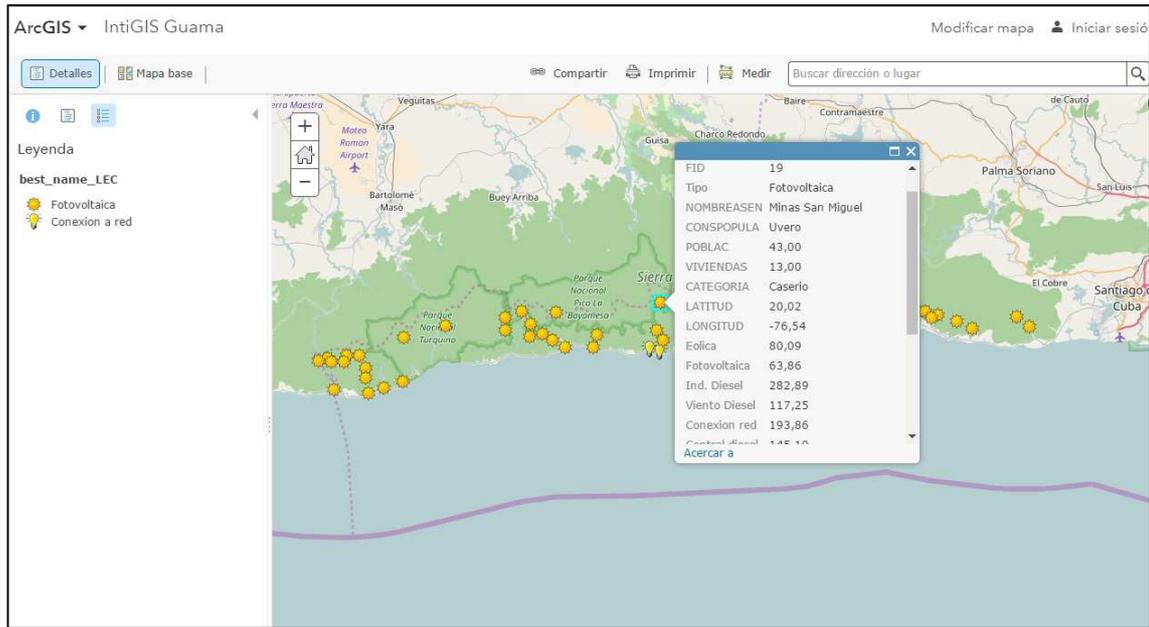


Figura 7.12: Geoportal creado en ArcGIS Online para el primer caso de estudio.

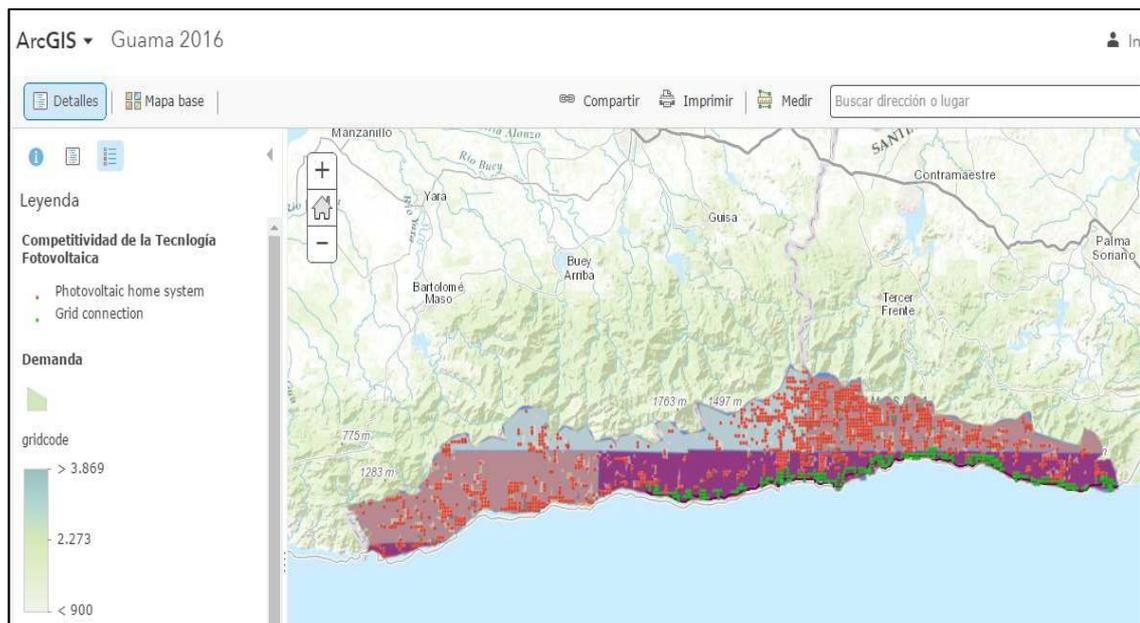


Figura 7.13: Geoportal creado en ArcGIS Online para el segundo caso de estudio.

REFERENCIAS

Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica y Energías Renovables, (2011). *Tutorial Autoayuda. IntiGIS v1.0*. Madrid: CIEMAT

Madruga, Emir *La Energización Rural en Cuba*. Cuba: Biblioteca Cubasolar.

Pinedo, I. (2007) *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la Integración de las Energías Renovables en la Producción de Electricidad en las Comunidades Rurales. Caso de Estudio: Electrificación del Municipio Cubano de Guamá*, Madrid: Tesis doctoral, CIEMAT.

Rodríguez Gámez, María (2012) *La ordenación y la planificación de las fuentes renovables de energía en la isla de Cuba desde una perspectiva territorial. Estudio de caso en el municipio de Guamá a partir de un geoportal*. Madrid: Editorial CIEMAT.

Romero Otero, L. 2016. *Sistemas de información geográfica y electrificación rural. Análisis, desarrollo y estudio de caso con IntiGIS*. Trabajo de Fin de Máster. UCM - Facultad De Geografía E Historia. Master En Tecnologías De Información Geográfica.

PARTE III. CREACIÓN DE CAPACIDADES LOCALES

Capítulo 8. Estrategias formativas para la creación de capacidades locales y nacionales en el marco del proyecto HYBRIDUS. (Lara de Diego²⁵).

Introducción: contextualización

El presente apartado se refiere al desarrollo y los resultados del programa de creación de capacidades locales dentro del proyecto *Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la Isla de Cuba*.

El Proyecto ha sido desarrollado en un contexto en que el estado cubano trabaja en el perfeccionamiento de su sistema social y económico. La política estatal favorece el desarrollo y uso de las energías renovables para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, implementando diferentes proyectos con el objetivo de aumentar la calidad de vida de poblaciones rurales, en ocasiones altamente agrestes y dispersas en la serranía que no poseen servicio eléctrico eficaz. Por otro lado, el proceso de descentralización que están viviendo los municipios cubanos está encaminado al desarrollo de iniciativas de desarrollo local que genere ingresos, productividad, incremento de alimentos para la población y elevación de la calidad de vida de la población. Todo ello requiere de la capacitación de los agentes locales en los conocimientos y habilidades necesarias para el uso y diseño de posibles mejoras de los sistemas y soluciones puestas en marcha, y para la apropiación de la tecnología por parte de los beneficiarios finales, asegurando la sostenibilidad del proyecto en el tiempo.

La creación de capacidades es esencial para el desarrollo de competencias y para cubrir las necesidades de conocimiento y habilidades, siendo el motor del desarrollo humano, tecnológico, social y económico de una sociedad.

En este sentido, una parte importante del Proyecto, ha consistido en planificar y desarrollar un programa de creación de capacidades locales, y de difusión y transferencia de resultados del Proyecto, con el objetivo final de contribuir al proceso de apropiación de la tecnología por parte

²⁵ División de Gestión del Conocimiento (CIEMAT)

de la población beneficiaria final y de los agentes involucrados en la acción, para asegurar la sostenibilidad en el tiempo y la replicabilidad de la experiencia a otras poblaciones.

Actividades y experiencia del CIEMAT en Creación de Capacidades, Gestión y Transferencia del Conocimiento, Educación y Formación.

El CIEMAT tiene una amplia y larga experiencia en el diseño y organización de actividades de gestión, preservación y transferencia del conocimiento, coordinando y participando en numerosos proyectos de E & T & t (educación, formación y tutoría), Creación de Capacidades y Cooperación Educativa en materias relacionadas con las áreas de experiencia del Centro y principalmente, con aquellas relacionadas con las Energías Renovables, la Eficiencia Energética y el Medioambiente.

La División de Gestión del Conocimiento realiza esta labor a través de una gran variedad de actividades de difusión y capacitación, y una amplia oferta formativa. Además, nuestra División cuenta con una gran experiencia en proyectos de creación de capacidades, tanto a nivel nacional como internacional, así como en proyectos de cooperación educativa principalmente para contribuir al desarrollo de las zonas más desfavorecidas y con una gran presencia en América Latina y el Caribe, Asia y África.

La creación de capacidad es fundamental para impulsar el desarrollo de las energías renovables y garantizar una energía sostenible, competitiva y segura, fomentando la capacitación de personal cualificado y competente, el aprendizaje permanente y la movilidad sin fronteras para la comunidad científica en consonancia con la estrategia europea. En este sentido, las iniciativas de formación y el desarrollo de programas de creación y fortalecimiento de capacidades, en este contexto, son cruciales para promover el desarrollo y posibilitar la transición hacia una economía baja en carbono, basada en el fomento y desarrollo de tecnologías renovables, la innovación energética y la sostenibilidad ambiental, permitiendo generar conocimiento y formar profesionales cualificados en estas áreas.

El CIEMAT, a través de este programa aborda proyectos relacionados con el impacto ambiental, la transferencia y difusión de las tecnologías energéticas de bajo carbono. Centrados en fortalecer las capacidades de los diferentes sectores representativos relacionados con las energías renovables, con el fin de ayudar a incorporar las nuevas tecnologías y los nuevos desarrollos. La creación de capacidades debe ser vista como un proceso transversal y parte

integral de un proyecto o programa. Sin embargo, el desarrollo de capacidades es un proceso iterativo a largo plazo, y debe tener un enfoque flexible y adaptable a las distintas situaciones y a los nuevos desafíos energéticos y medioambientales. La estrategia de estos planes de Creación de Capacidades se basa en un consenso entre las necesidades comunes, la visión y los instrumentos de investigación y formación en materia de energía y medioambiente:

- **La Investigación:** la creación de conocimiento.
- **La Innovación:** las aplicaciones tecnológicas.
- **La Educación y la Formación:** la gestión, preservación y transferencia de conocimiento y la creación capacidades.

La experiencia del CIEMAT en Creación de Capacidades, Gestión y Transferencia del Conocimiento y E&T&t en las áreas de especialización del Centro podría incluirse en las siguientes acciones principales:

Ofrecer Capacitación: CIEMAT dispone de una amplia oferta de programas de formación de postgrado especializado, impartido en diferentes modalidades (actividades presenciales, e-learning que tienen lugar en el Centro Virtual de CIEMAT), desarrollado, gestionado e implementado por el CIEMAT.

Colaboración con Instituciones Públicas: CIEMAT colabora con instituciones públicas relevantes y en consorcios para transferir y compartir su experiencia y expertos en las áreas de Energía y Medio Ambiente.

Proyectos de Cooperación Educativa: CIEMAT participa activamente y promueve proyectos destinados a aumentar y potenciar las actividades de innovación, la promoción de la integración de la educación y la formación en el ámbito de la excelencia del Centro.

Desarrollo de estrategias de creación de capacidades para asegurar el aprendizaje permanente y sostenible: Incluyendo además las actividades virtuales de formación para facilitar el acceso global y continuo a la educación y la formación. Con el objetivo de crear, desarrollar y mantener conocimiento de alta calidad científica y tecnológica y avanzar hacia la armonización del aprendizaje en el campo de la energía, se incluyen en el diseño de los programas y estrategias de Creación de Capacidades, las actividades de tutoría, programas de

maestría y doctorado, formación de postgrado y profesional, así como actividades de difusión, seminarios y talleres, así como la creación de grupos de trabajo y redes de expertos.

Contexto y Objetivos del programa de creación de capacidades locales

El desarrollo de una estrategia de formación y gestión de conocimiento para la creación de capacidades y competencias asociadas al proyecto, da cumplimiento a las metas planteadas de intercambiar, divulgar, publicar y difundir los resultados generados durante su desarrollo, así como las buenas prácticas y las experiencias resultantes del mismo.

Las acciones destinadas a la capacitación dentro se enfocan en la transferencia de conocimiento para el desarrollo inicial y la mejora de las competencias profesionales de acuerdo con los objetivos establecidos en el marco del Proyecto, siendo además la base para la articulación de una comunidad de conocimiento entorno a las áreas de actividad abordadas, en concreto: generación de energía partir de biomasa sólida y energía solar fotovoltaica. Sistema Híbrido Biomasa- Solar, acorde con los principios formativos de la Cooperación Española y que potencie la alianza estratégica entre los agentes implicados en su desarrollo (CUBASOLAR, SODEPAZ y CIEMAT). Asimismo, la creación de capacidades durante su ejecución es crucial para hacer posible la implementación del mismo y preparar a los agentes involucrados en Cuba para el uso de los beneficios del sistema híbrido propuesto.

Este programa de Creación de Capacidades se enfoca en cuatro líneas de actividad:

- Acciones de capacitación científico técnica: tanto a un nivel fundamental como más específico, en las temáticas de biomasa, recursos solares, sistemas híbridos, su diseño e implantación, así como para el uso de los equipos y diseño de posibles mejoras. Las acciones se complementarán con visitas a las instalaciones. Estas acciones incluyen diferentes talleres dirigidos a los siguientes destinatarios y colectivos específicos: personal técnico principalmente involucrado en el proyecto, especialistas en el ámbito de la energía y tecnologías renovables, postgrados, academia, etc.
- Constitución de una comunidad de conocimiento formada por los destinatarios del programa de formación y por profesionales del sector energético de la Isla de Cuba, para el fomento de las energías renovables, el intercambio de conocimiento y experiencias, así como contribuir a la sostenibilidad del proyecto en el tiempo a

través de la realización de acciones que tengan como fin la continuidad y sostenibilidad de los resultados y aplicación de la tecnología procedente del proyecto y al desarrollo energético sostenible y científico tecnológico de Cuba.

- Generación y difusión de conocimiento a través de diferentes productos y materiales de conocimiento generados en el proyecto, informes científico-técnicos, trípticos y ponencias de los talleres, hojas de prensa, artículos de revistas, incluyéndose su mayoría en este libro.
- Creación de un Portal Web para la difusión y visibilización de los resultados y productos de conocimiento del Proyecto.

Los objetivos de esta estrategia de Creación de Capacidades son:

- Contribuir a la formación y aumento de competencias de profesionales e investigadores y los agentes del sector energético, en las diferentes disciplinas relacionadas con las Energías Renovables sobre una base científica. Y, en especial, en recursos solares y de biomasa y análisis previo del potencial del sistema híbrido propuesto.
 - Promover el desarrollo de la comunidad científica y académica en torno a las disciplinas relacionadas con las Energías Renovables y fomenta su articulación internacional.
 - Promover la sostenibilidad del proyecto a través de la capacitación, formación y desarrollo de competencias orientadas los perfiles destinatarios y agentes involucrados en el desarrollo del proyecto, asegurando la igualdad de género y la capacitación técnica necesaria que promueva la continuidad y sostenibilidad de las instalaciones y del proyecto.
 - Promover la difusión del proyecto, resultados y aplicación y uso de las plantas híbridas a los agentes interesados del gobierno, organismos reguladores, legisladores, órganos asesores y grupos de interés del sector público, los organismos de desarrollo, los desarrolladores comerciales y usuarios finales.

Actividades y Resultados del programa de Creación de Capacidades locales

Las cuatro líneas de actividades contempladas para la capacitación técnica y habilidades locales, la difusión de los resultados y conocimientos generados, la sostenibilidad en el tiempo y

la replicabilidad a otras regiones, se han desarrollado de modo paralelo y en relación y coherencia unas con otras.

Acciones de capacitación científico técnica

La capacitación de los agentes locales involucrados en el Proyecto y especialistas y profesionales del sector de la energía de la Isla de Cuba se ha llevado a cabo a través de un Ciclo de Talleres científico-técnicos que abordaron la tecnología y fuentes energéticas objeto del proyecto: energía solar y biomasa, procesos de gasificación, su evaluación mediante los sistemas de información geográfica, y los sistemas y tecnologías de hibridación. Los talleres contaron con una componente de campo, y se combinaron las ponencias e intercambio de experiencias con las visitas técnicas a instalaciones relacionadas con el Proyecto con el objetivo de capacitar técnicamente a los profesionales y promover el desarrollo de sistemas de generación de energía que favorezcan la sostenibilidad y la eficiencia ambiental mediante el ahorro energético y el uso de fuentes renovables.

En los programas de dicho de talleres se contemplaron:

- Ponencias a cargo de los expertos del CIEMAT participantes en el Proyecto para la transferencia de las competencias científico-técnicas necesarias para el uso de los equipos y diseño de posibles mejoras en los sistemas híbridos de cogeneración de energía.
- Presentación de proyectos, experiencias y trabajos actualmente en desarrollo y en la misma línea en el ámbito local y regional por parte de los participantes expertos cubanos.
- Espacios para el debate, la valoración y las conclusiones, donde se comparten las ideas, experiencias, cuestiones y dudas, así como se valoran los resultados de la actividad y se exponen las consiguientes conclusiones. Estos espacios además contribuyen a articular de forma eficaz a los agentes implicados en la aplicación de la acción innovadora, incluyendo a diferentes agentes del sector de la energía y promoción de medidas y planes energéticos de la Isla de Cuba. Asimismo se promueve el intercambio de experiencias entre los agentes de decisión y responsables de la planificación energética y de la promoción de las energías renovables, así como

consolidar las relaciones existentes entre los diferentes grupos interesados en la temática en la región.

Se llevaron a cabo un total de cuatro talleres, tres de ellos en territorio cubano y uno en España. Los dos primeros se desarrollaron en los meses de junio y septiembre de 2016, respectivamente, en el municipio de Guamá (Santiago de Cuba), lugar donde SODEPAZ y CUBASOLAR llevan 8 años desarrollando un amplio programa de solarización con la participación de múltiples actores cubanos. En ellos se desarrollaron las temáticas afines al proyecto referidas a la gasificación de biomasa, a la aplicación de sistemas de información geográfica para electrificación rural, la cogeneración con sistemas híbridos para electrificación rural y la visita de distintas instalaciones funcionando en Cuba con energías renovables. El tercer taller abordó la evaluación de recursos de biomasa y su utilización energética mediante procesos termoquímicos, se desarrolló en el mes de enero de 2017 en la ciudad de La Habana y se completó con visitas técnicas a instalaciones experimentales relacionadas con las tecnologías tratadas durante el taller. La cuarta y última actividad se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Desarrollo de Energías Renovables, CEDER, centro territorial perteneciente al CIEMAT ubicado en la provincia de Soria en España, durante el mes de junio de 2017. La parte de taller trató la cogeneración con sistemas híbridos para electrificación rural abordando la disponibilidad de recursos de biomasa y su viabilidad energética mediante procesos termoquímicos, todo ello en el ámbito rural. Las visitas técnicas se realizaron a las instalaciones del CEDER -CIEMAT así como a diferentes instalaciones de la geografía española de interés para el Proyecto. Durante la estancia de los investigadores y profesionales cubanos en España se realizaron asimismo encuentros y visitas técnicas en la sede de CIEMAT de Moncloa en Madrid y en la Plataforma Solar de Almería, centro territorial perteneciente al CIEMAT y mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de Europa dedicado a las tecnologías solares de concentración. En ellos tuvo lugar la recepción de los visitantes por parte del personal institucional y expertos de la División de Energías Renovables quienes presentaron los laboratorios, instalaciones y líneas de actividad propias de cada uno de los Centros.

Perfil de los destinatarios y selección de candidatos

El perfil de los participantes destinatarios de las acciones formativas ha estado determinado por las características del Proyecto y consensuado por los socios participantes en el mismo,

jugando un papel fundamental CUBASOLAR, socio local en la Isla de Cuba, con experiencia en multitud de proyectos en soluciones energéticas para el país y amplio conocimiento del sistema institucional, de los agentes del sector energético, la academia y la investigación.

Este Proyecto contribuye a la capacitación de profesionales e investigadores en las diferentes disciplinas relacionadas con las Energías Renovables, agentes e instituciones relacionados con su implementación, entidades y empresas del sector energético (ingenierías, compañías eléctricas, fabricantes de equipos, centros de investigación, etc.), desarrolladores de proyectos y responsables en la toma de decisiones de políticas y planes energéticos, estudiantes y profesionales del sector que puedan tener un papel en la difusión y puesta en marcha de este tipo de sistemas.

El Proyecto también pretende contribuir a la creación de una comunidad de conocimiento que permita articular de forma eficaz a los agentes implicados en la aplicación de la innovación, incluyendo instituciones públicas, privadas, actores y colectivos vinculados a la producción de energías renovables, para lo cual se invitó a la participación al Ministerio de Agricultura y su Delegación provincial, Ministerio de MA (CITMA), AZCUBA, Universidad de Oriente (UO), Universidad de Camagüey, Unidades Básicas de Producción, ANAP, MINCEX, CUBASOLAR.

Tanto la difusión de los talleres como la selección de candidatos fueron llevadas a cabo por CUBASOLAR, en base a criterios de adecuación al perfil destinatario establecido en el marco del Proyecto, diversificación geográfica y equidad de género, principalmente. Se seleccionaron veinticinco candidatos conforme a los criterios establecidos y a la idoneidad de su participación en el Ciclo de Talleres desarrollados en Cuba. Para el último taller-visita técnica a España, estaba previsto inicialmente en la propuesta el viaje y participación de cinco alumnos de entre todos los asistentes a los talleres, debido a cuestiones principalmente presupuestarias. Finalmente fue posible la participación de siete, que se encontraban entre aquellos profesionales con un perfil y trayectorias adecuadas y su implicación inmediata o futura en las acciones derivadas del marco del Proyecto y así contribuyendo a la sostenibilidad y continuidad del mismo.

Certificado de aprovechamiento.

Una vez finalizado cada taller se otorgó la documentación presentada por los ponentes así como documentación adicional de interés como parte de material complementario preparado por los mismos.

Asimismo se otorgó a los participantes un certificado de aprovechamiento correspondiente a 30 horas lectivas, expedido por la Unidad de Formación de CIEMAT.

Valoración por los participantes

Al finalizar cada taller, se recogió la valoración por parte de los participantes. De los datos recogidos se desprende que en el 100% de los participantes cumplieron las expectativas con respecto a la actividad desarrollada, y asimismo confirmaron sentirse plenamente satisfechos con el resultado de la misma.

En la encuesta se evaluaron otros aspectos de interés, entre ellos:

- Todos los asistentes a los talleres estaban muy o bastante satisfechos con los conocimientos que se han aportado en todos los talleres.
- El 95% de los participantes consideró adecuada la duración de los talleres. Y respecto al ritmo de las clases, un 10 % consideró que las actividades fueron rápidas y podría prolongarse su duración.
- Las condiciones de trabajo fueron valoradas como buenas o muy buenas por el 100% de los participantes. En cuanto al material y el contenido, todos los participantes mostraron su satisfacción considerándolos adecuados, necesarios y de interés para su profundización en las materias.
- Los profesores implicados en los talleres fueron calificados a partes iguales entre pedagógicos y muy pedagógicos. Dichos profesores recibieron calificaciones con una nota superior al 4 sobre una puntuación máxima de 5, considerando de gran adecuación, interesantes y didácticos, tanto la metodología y didáctica empleada como el material y los contenidos.

Las propuestas de mejora, destacaron:

- La realización de ejercicios dinámicos para comprobar la adquisición de conocimientos.
- La realización de los talleres en el terreno donde se aplicarían.

Constitución de una Comunidad de Conocimiento. Red de Bioenergía

Con el objetivo de fomentar la actividad de la comunidad académica en torno a las disciplinas relacionadas con las Energías Renovables y para promover el desarrollo de una Comunidad de Conocimiento entorno a la soluciones para la sostenibilidad energética de la Isla de Cuba, se constituyó la Red de Bioenergía, una red de investigadores y profesionales, coordinada por CUBASOLAR y formada inicialmente por los participantes de los talleres desarrollados y los expertos de las instituciones socias, CUBASOLAR, SODEPAZ y CIEMAT. La Red pretende reunir a aquellos agentes públicos y privados relacionados en el fomento de las energías renovables, el desarrollo energético sostenible y científico tecnológico de Cuba, así como otros interesados en participar en el desarrollo de su actividad. La Red de Bioenergía es una comunidad incipiente y su objetivo es la promoción e intercambio de conocimiento y experiencias sobre el desarrollo de sistemas de energía que favorezcan la sostenibilidad, eficiencia ambiental y energética y el uso de las Fuentes Renovables de Energía²⁶. Además, esta comunidad de reciente creación se considera un espacio idóneo para contribuir a la sostenibilidad del Proyecto en el tiempo a través de la realización de acciones que tengan como fin la continuidad y sostenibilidad de los resultados y aplicación de la tecnología procedente del proyecto y al desarrollo energético sostenible y científico tecnológico.

²⁶ <https://www.facebook.com/red.bioenergia.guama/> Acceso 27/09/17

Generación y difusión de conocimiento a través de diferentes productos y materiales de conocimiento generados en el proyecto: informes científico-técnicos, trípticos e informes de los talleres, ponencias, hojas de prensa, difusión a través de la Web.

La documentación y difusión de la información y el conocimiento generado en el Proyecto es un componente esencial en la gestión del mismo. El proceso de documentar el proyecto no sólo implica la documentación de resultados, sino también del análisis, procesos, metodologías y decisiones clave del proyecto. La información y el conocimiento generados se deben difundir a los participantes principales, a los destinatarios objetivo establecidos en el Proyecto, así como a la sociedad en general. El fin último es transferir y preservar el conocimiento y resultados, contribuyendo a la sostenibilidad y continuidad de los mismos.

Los materiales elaborados para recoger y divulgar los resultados y conocimiento generado durante el desarrollo del Proyecto son de diversa índole y resultado de las diferentes actividades llevadas a cabo. El Ciclo de Talleres generó una gran cantidad de material y documentación científico-técnica elaborada por los ponentes, expertos participantes en el desarrollo técnico del Proyecto, y que fue divulgado entre los participantes y destinatarios objetivo de las capacitaciones. Igualmente, el desarrollo del Programa de Creación de Capacidades locales generó gran cantidad de información, material y resultados, los cuales están recogidos parcialmente aquí y se incorporan en su totalidad al informe final del proyecto.

Creación de un espacio Web para la difusión y visibilización de los resultados y productos de conocimiento del proyecto.

Como parte del programa de Creación de Capacidades y como espacio referencia y visibilización del Proyecto y los resultados generados, se desarrolló y se publicó un Portal Web del proyecto: <http://projects.ciemat.es/web/hybridus>; alojado en el Aula Virtual del CIEMAT y coordinado por la Unidad de Formación, responsable del diseño e implementación del Programa de Creación de Capacidades locales.

Este espacio en la Web pretende recoger, preservar y difundir el conocimiento generado en el Proyecto tanto entre los socios participantes, como entre los agentes, instituciones y profesionales públicos y privados involucrados y con implicación en el desarrollo energético sostenible y científico tecnológico de la Isla de Cuba. Además de ser un referente y repositorio del material documental, gráfico y audiovisual resultante del trabajo a lo largo del Proyecto, es

una herramienta para la centralización de nuevos resultados, acciones y trabajo en red tanto en el marco del proyecto como de futuras acciones que puedan generar sinergias y contribuir a la sostenibilidad y continuidad del mismo. El Portal, de dominio público, cuenta con el material generado hasta la fecha que está disponible para su consulta y descarga por los usuarios, y se irá nutriendo de los nuevos avances que se generen como fruto de la actividad de los agentes involucrados en las líneas de actuación abiertas a partir del Proyecto, entre ellos, la Red de Bioenergía.

El Portal además cuenta con información sobre las entidades socias participantes y un buzón y un formulario de contacto, abiertos para los intereses y la participación a cualquier usuario.

CONCLUSIÓN.

El trabajo que aquí hemos recogido supone la participación de un gran grupo de personas interesadas en el desarrollo sostenible y las energías renovables. Su aportación a este estudio ha sido en gran medida desinteresada y refleja su deseo de ofrecer, desde el ámbito de sus respectivas organizaciones, sus capacidades y conocimientos para conseguir mejorar la calidad de vida de los pobladores de estas comunidades más desfavorecidas por su aislamiento.

Los resultados de los diferentes estudios que se engloban en este documento son esperanzadores y nos llevan a reforzar nuestra apuesta por la extensión de las energías renovables como estrategia de desarrollo, cooperación y enfrentamiento a las catastróficas consecuencias del cambio climático.

La principal conclusión de este proyecto es sin duda la necesidad de continuarlo. La necesidad de continuarlo en cuanto a lo que ha supuesto de estrecha relación personal y profesional entre sus componentes, de enriquecimiento mutuo y de deseos de mejora compartidos. Lo que ha supuesto desde la perspectiva tecnológica, llevando a su origen el concepto de tecnología apropiada y preponderando el papel de las renovables en la lucha contra el cambio climático y por el desarrollo sostenible.

Esta conclusión soporta nuestra firme decisión de continuar en esta vía, aportando integralidad a las soluciones y dando lo mejor que como investigadores tenemos, nuestro rigor y entrega profesional.

Madrid y La Habana, septiembre de 2017.

ACRÓNIMOS

ACC	Academia de Ciencias de Cuba
ACS	Agua caliente sanitaria
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo
AMLAT	América Latina
AMT	Año Meteorológico Tipo
CAME	Consejo de Ayuda Mutua Económica
CATEDES	Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible
CC-PCC	Comité Central del Partido Comunista Cubano
CEEFE	Centro de Estudios de Eficiencia Energética
CENIFER	Centro de Referencia Nacional en Energías Renovables y Eficiencia Energética
CETA	Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera
CETER	Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas
CIES	Centro de Investigaciones de Energía Solar
CITMA	Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
CNE	Comisión Nacional de Energía
CUBAENERGIA	Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía

CUBASOLAR	Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental
FMC	Federación de Mujeres Cubanas
FRE	Fuentes Renovables de Energía
FV	Energía Solar Fotovoltaica
GBV	Grupo de Biogás Villa Clara
HYBRIDUS	Cogeneración de energía, eléctrica y térmica, mediante un sistema híbrido biomasa-solar para explotaciones agropecuarias en la Isla de Cuba
IMRE	Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica
ININTEF	Instituto de Investigación Técnica Fundamental
INRH	Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
ISPJAE	Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría
JUCEPLAN	Junta Central de Planificación
LACETEL	Laboratorio Central de Telecomunicaciones
LEC	Levelized Elctric Cost
MINBAS	Ministerio de Industria Básica
MINCEX	Ministerio de Comercio Exterior
MINAGRI	Ministerio de la Agricultura
MINAL	Ministerio de la Industria Alimenticia
MINAZ	Ministerio del Azúcar
MINFAR	Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias

MININT	Ministerio del Interior
MITRANS	Ministerio del Transporte
MUB	Movimiento de Usuarios del Biogás
OACE	Administración Central del Estado
ONG	Organización no gubernamental
OPPP	Órganos Provinciales del Poder Popular
PDHL	Programa Marco de Desarrollo Local
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
SEN	Sistema Electroenergético Nacional
SIME	Ministerio de la Industria Sidero-mecánica
SODEPAZ	Solidaridad para el Desarrollo y la Paz
UE	Unión Europea
UNAICC	Unión nacional de arquitectos e ingenieros de la construcción

