

9

**CONCLUSIONES Y FUTURAS
LINEAS DE INVESTIGACIÓN**

9.1 CONCLUSIONES Y APORTACIONES DE LA TESIS

En esta Tesis se aborda la generación eléctrica distribuida mediante sistemas híbridos compuestos por pila SOFC y turbina de gas, alimentados por los gases producidos en la gasificación de residuos forestales. Su optimización se lleva a cabo mediante la aplicación de un algoritmo bioinspirado basado en nubes de partículas, PSO.

Las principales conclusiones que se obtienen son las siguientes:

- Para un sistema SOFC-TG la óptima potencia de generación estaría comprendida entre 10 y 15 MW, con un radio de acción de entre 20 y 25 km y áreas de recogida de biomasa de entre 1250 y 2000 km² (ver apartado 8.2). Los proyectos empiezan a ser viables cuando el radio de acción supera los 5 km y la potencia de generación de 1 MW.
- A lo largo de los casos analizados en el apartado 8.2, se pone de manifiesto que las primas que se contemplan actualmente en la legislación española, Real Decreto 661/2007, son imprescindibles para la decisión de invertir en una planta de generación que utiliza como combustible la biomasa. El proyecto resulta más atractivo si se le conceden incentivos a la inversión.
- Con la anterior normativa, Real Decreto 436/2007, los proyectos de aprovechamiento de la biomasa residual dispersa (agrícola o forestal) eran prácticamente inviables. Se requería una elevada suma de incentivos a la inversión y condiciones técnicas y económicas muy favorables, tal y como se demuestra en el apartado 8.2.7.
- En aprovechamientos energéticos de biomasa residual dispersa geográficamente y desde el punto de vista del inversor, la mejor ubicación y

área de extracción de biomasa es siempre la misma, independientemente del sistema de generación elegido, siempre que no se incluyan restricciones técnicas importantes en el modelo técnico de cada sistema, y sin limitar la potencia de generación. Esto es debido a la influencia decisiva que tienen en la rentabilidad del proyecto el potencial energético de las parcelas y los costes de extracción y transporte de los residuos a planta. A igualdad de potencia de generación, la ubicación de la planta y la superficie de suministro de biomasa variará en función del funcionamiento y la eficiencia del sistema empleado. Todo esto se comprueba en los apartados 8.3.5 y 8.3.6.

- Con las simulaciones realizadas se justifica la validez de las técnicas metaheurísticas y, especialmente, del algoritmo PSO propuestos para la resolución del problema de optimización de sistemas de generación que utilizan la biomasa residual dispersa. Suponiendo que la dimensión del problema a resolver es de 20 y se ejecuta el algoritmo empleando 60 iteraciones con una nube compuesta por 30 partículas, el coste computacional es como mínimo $2^{20}/(60 \cdot 30) \approx 600$ veces menor que el requerido por un método convencional de búsqueda exhaustiva.
- El algoritmo PSO presenta varias ventajas (robustez, eficacia, eficiencia, etc.) con respecto al algoritmo base de Afshinmanesh y los algoritmos genéticos que son los métodos elegidos y utilizados para comparar la validez de la técnica propuesta. Considerando siempre el mismo número de evaluaciones (tiempo computacional) en todos los algoritmos, Con el PSO presentado se alcanzan siempre mejores soluciones y se converge a éstas con mayor rapidez. Las modificaciones realizadas para la mejora del funcionamiento del algoritmo PSO binario quedan justificadas y demostradas, principalmente en el apartado 8.3.2. En estos problemas tan complejos que intervienen numerosas variables y disponen de varios máximos locales, se hace imprescindible que el algoritmo explore más

intensamente al principio para que la experiencia adquirida en todo el espacio de búsqueda se aproveche al máximo en las iteraciones posteriores.

- La aplicación del algoritmo PSO en este tipo de problemas requiere un equilibrio entre la precisión que se pretende obtener en el resultado y el tiempo de ejecución necesario. La dimensión del problema o codificación, el número de iteraciones y el número de partículas de la nube van a influir en este sentido. Estos parámetros vendrán impuestos por el tipo de representación del espacio de búsqueda elegido, la representación de la solución, la precisión del resultado y el tiempo de ejecución máximo establecido.
- A lo largo del capítulo 8, se han incorporado restricciones técnicas, como la limitación de la potencia de generación, el mantenimiento de las tensiones de los nudos de la red en unos rangos reglamentarios o admisibles, y la consideración simultánea de dos funciones objetivo independientes. En estos casos, la complejidad del problema y la dificultad en la búsqueda de la solución han aumentado considerablemente. Esto ha provocado y manifestado, con mayor claridad, la diferencia existente entre el rendimiento del algoritmo PSO y los algoritmos genéticos utilizados.

Otras conclusiones se pueden establecer en función de las aportaciones que se han realizado a lo largo de la Tesis:

- Se propone un modelo técnico de un sistema SOFC-TG adaptado al modelo económico y geográfico global que tiene como objetivo obtener la potencia activa de generación en función de los gases procedentes de la gasificación de los residuos forestales aprovechados.
- Se plantean los residuos forestales como recurso energético de enorme potencial actualmente desaprovechado. El análisis manifiesta una gran

complejidad en la planificación, evaluación del potencial utilizable y la elección de los sistemas de recogida. En base a este análisis, se plantean una serie de fórmulas válidas para la evaluación de la biomasa utilizable y los costes de recogida y transporte.

- Se plantean tres puntos de vista para la optimización de sistemas SOFC que utilizan residuos forestales gasificados como combustible, el del inversor o productor de energía eléctrica, el de la empresa distribuidora de energía y un tercero global que tiene en cuenta simultáneamente los objetivos de los dos anteriores. Se desarrolla un modelo técnico, económico y geográfico completo para su posterior análisis y simulación.
- Se propone e implementa un algoritmo de PSO para codificación binaria que resuelve el problema de optimización planteado en esta Tesis, dando mejores resultados que los algoritmos PSO y genéticos existentes.

9.2 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El trabajo desarrollado en esta Tesis y los resultados obtenidos, dan pie a un amplio abanico de posibles trabajos como futuras líneas de investigación. A continuación se destacan algunas:

- Modificar e implantar nuevos mecanismos que mejoren la eficiencia y convergencia del algoritmo PSO propuesto para resolución y optimización de problemas similares a los aquí planteados.
- Aplicación de metaheurísticas para optimizar el funcionamiento de redes eléctricas y sistemas de generación distribuida con energías renovables.

- Propuestas de algoritmos híbridos basados en la combinación de metaheurísticas que mejoren su eficiencia por separado para problemas relacionados con redes eléctricas, generación distribuida y aprovechamiento de biomasa. Establecer comparativas entre las distintas metaheurísticas empleadas.
- Diseño y configuración óptima de redes eléctricas aplicando algoritmos PSO.
- Análisis de sistemas de generación eléctrica que pueden ser alimentados por cualquier tipo de biomasa, forestal, agrícola, industrial, etc.
- Optimización de micro-turbinas que se alimentan con cualquier tipo de biomasa residual.
- Optimización de aprovechamientos energéticos con la biomasa residual procedente del olivar.
- Elaboración y obtención de bases de datos relacionados con el potencial de biomasa residual de una región real para la aplicación y, en su caso, adaptación del algoritmo PSO.
- Investigaciones de todo tipo para los sistemas formados por pila SOFC y micro-turbina de gas. Esta configuración híbrida se considera una tecnología prometedora y emergente, por las posibilidades que contempla y los elevados niveles de eficiencia que alcanza.

