

Optimización del diseño de sistemas de electrificación rural con energías renovables para países en desarrollo

Laia Ferrer-Martí*, Bruno Domenech, Alberto García-Villoria, Rafael Pastor

Departamento de Ingeniería Mecánica (DEM), Departamento de Organización de Empresas (DOE).
Instituto de Organización y Control (IOC)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
Av. Diagonal, 647, 08028, Barcelona (España).
E-mail (*): laia.ferrer@upc.edu



Palabras Clave: electrificación rural, energías renovables, microrredes

Síntesis

Los sistemas de electrificación que utilizan fuentes de energía renovables son adecuados para proveer de electricidad a poblaciones aisladas de forma autónoma. El grupo de investigación Ingeniería de Organización y Logística Industrial (EOLI) de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC) está estudiando la optimización de estos sistemas mediante el desarrollo de modelos matemáticos de programación lineal, algoritmos heurísticos y herramientas multicriterio que consideren criterios técnicos, económicos y sociales. Complementariamente, se han desarrollado procedimientos de evaluación y modelos de gestión para los proyectos. Se han estudiado casos prácticos reales en Perú, Bolivia, Nicaragua, Cabo Verde y Nepal y, actualmente, se está trabajando en México y Venezuela desarrollando planes de electrificación rural. Esta investigación ha sido financiada por el Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la UPC y por 2 proyectos del plan nacional. Hasta la fecha, ha dado como resultados principales 4 tesis doctorales leídas y 18 artículos JCR.

Introducción y Objetivos

Actualmente, hay 1.100 millones de personas en el mundo sin acceso a la electricidad, concentrados sobre todo en zonas rurales de países en desarrollo. Los sistemas de electrificación basados en el uso de fuentes de energía renovables han demostrado ser adecuados para proveer de electricidad a poblaciones aisladas de forma autónoma: tienen un coste inferior al de extender la red eléctrica y, además, producen electricidad de una manera respetuosa con el medio ambiente y no contaminante. En concreto, los sistemas híbridos que combinan el uso de diferentes fuentes de energía (eólica, solar, hidráulica) así como microrredes de distribución y puntos de generación aislados son los que pueden conseguir un mejor resultado. Para la optimización del diseño de estos sistemas se deben explorar todas las combinaciones de localización de puntos, fuentes de generación y estructura de las microrredes de distribución. Además, es clave tener en cuenta los condicionantes técnicos, económicos y sociales de las instituciones promotoras y los futuros usuarios para poder garantizar la sostenibilidad de los sistemas en el tiempo.

El grupo EOLI de la UPC está desarrollando una línea de investigación cuyo objetivo general es optimizar el diseño de sistemas autónomos de electrificación rural con energías renovables a través del desarrollo de modelos y herramientas multicriterio de apoyo a la toma de decisiones. Para ello, se desarrollan modelos matemáticos de programación lineal y algoritmos heurísticos que se integran en una metodología de diseño general que permite tomar las decisiones de forma estructurada y teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos y sociales. Complementariamente, se han desarrollado procedimientos de evaluación de proyectos que analizan el impacto de la provisión del servicio eléctrico sobre el desarrollo socioeconómico de las personas y sistemas de gestión para organizar la operación, el mantenimiento y la sostenibilidad técnica y económica de los sistemas.

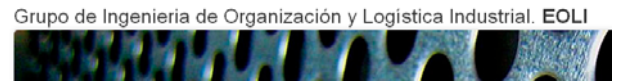
En síntesis, se trata de disponer de modelos y herramientas multicriterio para el diseño de sistemas de electrificación autónomos con energía renovable, que consideren los condicionantes y características de las instituciones promotoras y de los futuros usuarios, garantizando así que las soluciones obtenidas resulten eficientes y sostenibles en el tiempo.

Por eso, todo el trabajo se realiza con un enfoque muy aplicado en colaboración con ONGs y otras instituciones promotoras de estos proyectos. Se han estudiado casos prácticos de proyectos de electrificación reales en Perú, Bolivia, Nicaragua, Cabo Verde y Nepal. Actualmente se está empezando a trabajar en México y en Venezuela tanto a nivel de proyectos como a mayor escala en el desarrollo de planes regionales de electrificación rural.

Esta investigación se ha desarrollado en el marco de proyectos financiados por el Centro de Cooperación al Desarrollo de la UPC dos proyectos de investigación del plan nacional (ENE2010-15509 y ENE 2015-67253). Hasta la fecha ha dado como resultados: 4 tesis doctorales leídas, 2 más en curso, 18 artículos JCR, 5 proyectos final de carrera, 2 proyectos fin de máster, 1 libro y 4 capítulos de libro.

Conclusiones

El grupo de investigación Ingeniería de Organización y Logística Industrial (EOLI) de la UPC está estudiando la optimización de estos sistemas mediante el desarrollo de modelos matemáticos de programación lineal, algoritmos heurísticos y herramientas multicriterio que consideren criterios técnicos, económicos y sociales. Hasta la fecha ha dado como resultados: 4 tesis doctorales leídas, 2 más en curso, 18 artículos JCR, 5 proyectos final de carrera, 2 proyectos fin de máster, 1 libro y 4 capítulos de libro.



EOLI es un grupo de investigación de la [Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona Tech](http://www.upc.edu), formado por docentes, investigadores y profesionales con una amplia y reconocida experiencia en el estudio, análisis y resolución de problemas de organización (diseño y gestión de sistemas que incorporan personas y elementos tecnológicos), mediante el uso de conocimientos y técnicas avanzadas y plenamente actualizadas, fruto de su actividad de investigación. <https://eoli.upc.edu/es>

Líneas de trabajo

Diseño de sistemas de electrificación rural

Los sistemas basados en el uso de fuentes de energía renovables han demostrado ser adecuados para proveer de electricidad de forma autónoma a poblaciones aisladas y, además, producen la electricidad de un modo sostenible y respetuoso con el medio ambiente. El objetivo general de esta línea de trabajo es optimizar el diseño de estos sistemas de electrificación con energías renovables (eólica, solar, microhidráulica y bioenergía) y microrredes de distribución. Para garantizar la sostenibilidad técnica y económica de los proyectos, se diseña el sistema de gestión que se encargará de la operación y mantenimiento de los equipos y todo se enmarca dentro de metodologías de planificación de la electrificación rural que abarcan desde la identificación de la región y de las comunidades a electrificar hasta la implementación de los proyectos. En síntesis, se trata de disponer de modelos y herramientas multicriterio para el diseño de sistemas de electrificación autónomos con energía renovable con un enfoque muy aplicado a casos reales, que consideren los condicionantes y características de las instituciones promotoras y de los futuros usuarios, garantizando así que las soluciones obtenidas resulten eficientes y sostenibles en el tiempo.

**Electrificación rural eólica y solar
Optimización de la electrificación rural renovable**

Laia Ferrer

Ficha web
+34 93 401 65 79
laia.ferrer@upc.edu

Resultados

- Triadó-Americh, J.; Ferrer-Martí, L; García-Villoria, A.; Pastor, R (2016), MILP-based heuristics for the design of rural community electrification projects, *Computers & Operations Research* 71, 90-99.
- Domenech, B; Ferrer-Martí, L; Pastor, R (2015) Hierarchical methodology to optimize the design of stand-alone electrification systems for rural communities considering technical and social criteria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51, 182-196.
- Domenech, B; Ferrer-Martí, L; Pastor, R (2015) Including management and security of supply constraints for designing stand-alone electrification systems in developing countries *Renewable Energy* 80, 359-369.
- Lillo, P; Ferrer-Martí, L; Boni, A.; Fernández-Baldor, A. (2015) Assessing management models for off-grid renewable energy electrification projects using the Human Development approach: Case study in Peru. *Energy for Sustainable Development*. 25, 17-26.
- Ranaboldo, M.; Domenech, B.; Reyes, G.; Ferrer-Martí, L.; Pastor, R.; García-Villoria, A. (2015) Off-grid community electrification projects based on wind and solar energies: A case study in Nicaragua. *Solar Energy* 117, 261-281.
- Domenech, B; Ferrer-Martí, L; Lillo, P; Pastor, R; Chiroque, J. (2014) A community electrification project: Combination of microgrids and household systems feed by wind, PV or micro-hydro energies according to micro-scale resource evaluation and social constraints. *Energy for Sustainable Development* 23, 275-285.
- Ranaboldo M; García-Villoria A; Ferrer-Martí L; Pastor R. (2014) A heuristic method to design autonomous village electrification projects with renewable energies. *Energy* 73, 96-109.
- Ranaboldo, M; Domenech, B; Vilar, D; Ferrer-Martí, L; Pastor, R; García-Villoria, A. (2014) Renewable energy projects to electrify rural communities in Cape Verde. *Applied Energy* 118, 280-291.
- Ranaboldo, M; Ferrer-Martí, L; Velo, E. (2014) Micro-scale wind resource assessment for off-grid electrification projects in rural communities. A case study in Peru. *International Journal of Green Energy* 11, 75-90.
- Ferrer-Martí, L; Domenech, B; García-Villoria, G; Pastor, R (2013) A MILP model to design hybrid wind-photovoltaic isolated rural electrification projects in developing countries. *European Journal of Operational Research* 226, 293-300.
- Ranaboldo, M; Ferrer-Martí, L; García-Villoria, A; Pastor, R. (2013) Heuristic indicators for the design of community off-grid electrification systems based on multiple renewable energies. *Energy* 50, 501-512.
- Ferrer-Martí, F; Garwood, A; Chiroque, J; Ramirez, B; Marcelo, O; Garfi, M; Velo, E. (2012) Evaluating and Comparing Three Community Small-Scale Wind Electrification Projects. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 16, 5379-5390.
- Ferrer-Martí, L; Pastor, R; Capó, GM; Velo, E (2011) Optimizing microwind rural electrification projects. A case study in Peru. *Journal of Global Optimization* 50, 127-143.

Agradecimientos

Esta investigación se ha desarrollado en el marco de proyectos financiados por el Centro de Cooperación al Desarrollo de la UPC dos proyectos de investigación del plan nacional (ENE2010-15509 y ENE2015-67253). *Los autores agradecen el apoyo brindado por Soluciones Prácticas (Perú) e Ingeniería Sin Fronteras (Cataluña y Valencia, España).*