

METODOLOGÍA PARA ELABORAR UNA HOJA DE RUTA HACIA UN MIX ENERGÉTICO 100% RENOVABLE EN REDES AISLADAS USANDO SRH-M DE GRIDSOL**Robert Valencia-Chapi^{*****}, Jorge Servert^{****}, José Estebaranz^{****} and Javier Muñoz-Antón^{*}**

^{*} Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. C/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid, España. robert.valencia.chapi@upm.es

^{**} Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte. Av. 17 de Julio, 5-21, 100105 Ibarra, Ecuador.

^{***} Investigación, Desarrollo e Innovación energética S.L. C/ Oria, 16. 28002, Madrid, España.

^{****} Cobra Industrial Plants & Energy. C/ Cardenal Marcelo Spínola, 6. 28016 Madrid, España.

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.1011>

RESUMEN

Un sector eléctrico totalmente renovable forma parte de nuestro futuro, pero encontrar el camino que minimice el costo de esta transición no es tarea fácil. El proyecto GRIDSOL ha desarrollado una metodología para preparar Hojas de Ruta Sostenibles de los Sistemas de Generación de Energía (SRoEGS), con el objetivo de determinar la mejor manera de que una región alcance un mix de generación altamente renovable, teniendo en cuenta un conjunto integral de condiciones tales como: seguridad de suministro, disponibilidad de tierra, uso de agua, etc. Los resultados de un caso práctico muestran que simplemente agregar generación renovable barata a la mezcla es lo suficientemente bueno si el objetivo de contenido de energía renovable (RE) es bajo (hasta un 25%) pero, si una fracción RE realmente significativa (más del 60%) se desea adaptar el despliegue a los recursos disponibles y, lo que es más importante, determinar los requisitos de almacenamiento a nivel de sistema que ayuda a mantener los costos al mínimo.

PALABRAS CLAVE: Energía Solar, Almacenamiento Térmico, Mix Energético, Renovable.

ABSTRACT

A fully renewable electricity sector is in our future but finding the path that minimizes the cost of this transition is no easy task. The GRIDSOL project has developed a methodology to prepare Sustainable Roadmaps of Energy Generation Systems (SRoEGS), aimed at determining the best way for a region to reach a highly renewable generation mix, while taking into account a comprehensive set of conditions such as: security of supply, availability of land, use of water, etc. The results of a case study show that simply adding cheap renewable generation to the mix is good enough if the renewable energy (RE) content target is low (up to 25%) but, if a truly significant RE fraction (over 60%) is desired, tailoring the deployment to the available resources and, most importantly, determining the storage requirements at the system level helps keeping the costs to a minimum.

KEYWORDS: Solar Energy, Thermal Storage, Energy Mix, Renewable.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, los mercados de la energía en todo el mundo han iniciado una tendencia hacia la descarbonización, aumentando la energía de generación instalada de tecnologías de energía renovable (RE) como la fotovoltaica (PV), eólica, energía solar concentrada (CSP), geotérmica y biomasa. Sin embargo, elegir la ruta a seguir para esta transición no es trivial, ya que debe encontrar un equilibrio entre la estabilidad de la red, la seguridad de suministro, el costo de generación y el de seguridad de suministro. Este equilibrio depende de factores locales como los perfiles de demanda, la disponibilidad de recursos renovables, las infraestructuras y las políticas, por lo que cada región debe encontrar el camino que mejor se adapte a sus necesidades.

Además, cada tecnología tiene sus ventajas y desventajas inherentes. PV y la eólica han liderado el desarrollo e instalación de tecnologías RE en todo el mundo, alcanzando ya la competitividad económica frente a las centrales eléctricas tradicionales alimentadas con combustibles fósiles en determinados mercados (Yasuda et al., 2015). Sin embargo, estas fuentes de energía renovable variable (VRE) son difíciles de controlar, lo que requiere tecnologías de respaldo (como almacenamiento y generación flexible) para garantizar la estabilidad de la red. Por lo tanto, el objetivo a largo plazo de descarbonizar el sector eléctrico requerirá flexibilidad y distribución adicionales (Servert et al., 2016) de la generación de RE. Las energías renovables distribuíbles (CSP, biomasa, geotérmica) tienen las cualidades más deseables de ambos grupos anteriores, excepto el bajo costo (todavía). La biomasa, especialmente cuando se utilizan fuentes residuales (residuos a energía), puede alcanzar la paridad de la red, pero su tamaño suele estar limitado por la disponibilidad de combustible.

El proyecto GRIDSOL ha desarrollado una metodología para preparar Hojas de Ruta Sostenibles de los Sistemas de Generación de Energía (SRoEGS) (GRIDSOL Consortium, 2017), con el objetivo de determinar la mejor manera de que una región alcance un mix de generación altamente renovable, teniendo en cuenta un conjunto integral de condiciones tales como: seguridad de suministro, disponibilidad de tierra, uso de agua, etc. Esta metodología puede incorporar en el proceso de toma de decisiones una amplia gama de insumos adicionales establecidos por las partes interesadas, evaluando los impactos ambientales, sociales y económicos de los planes de desarrollo para asegurar su sostenibilidad desde un punto de vista holístico.

Esta metodología es apoyada por el Smart Renewable Hub Modeler (SRHM), una herramienta de optimización desarrollada en el paquete de trabajo de GRIDSOL sobre "Modelado de RES no gestionable y Generación Sincrónica en Smart Renewable Hubs", dirigida por IDIE.

METODOLOGÍA PARA HOJAS DE RUTA SOSTENIBLES DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA (SROEGS)

El elemento impulsor de la hoja de ruta es la seguridad del suministro. Con el fin de garantizar que el mix energético determinado por el SRH-M sea adecuado, se lleva a cabo una comparación entre la demanda por hora del sistema y la generación por hora de las plantas renovables y no renovables, y un parámetro de firmeza (entendido como la fracción de las horas en un año en el que la generación alcanza al menos el 95% de la demanda) (Servert et al., 2016).

Parámetros de la Hoja de Ruta

Una vez seleccionado el horizonte temporal (para este trabajo 2050), se definen los siguientes parámetros para cada hoja de ruta:

- Escenario de demanda, es decir, una previsión de la demanda por hora del sistema. Como ejemplo, estos pueden ser:
 - Demanda de caso base: la evolución de la demanda sólo se ve afectada por la evolución de la demografía y la eficiencia energética (Servert et al., 2015).
 - Demanda impulsada por la economía: como se ha mencionado anteriormente, pero también se considera la evolución de la relevancia de los sectores productivos económicos (Primario, Secundario y Terciario).
 - Demanda de cambio de paradigma: como se ha mencionado anteriormente, pero también se tienen en cuenta los elementos que cambian el paradigma (por ejemplo, el cambio en la aceptación social de la energía nuclear, la movilidad eléctrica).
- Escenario de negocio, es decir, la evaluación de factores externos que podrían afectar a la optimización del mix energético y/o al costo esperado de la electricidad para los consumidores (Servert and Cerrajero, 2017). Algunos ejemplos de esto serían:
 - Coste de las emisiones de CO₂ y su evolución a lo largo del tiempo.
 - Cuotas obligatorias para determinadas tecnologías.
- Evolución del parque de generación existente: eliminación gradual de plantas y tecnologías antiguas.

- Otras limitaciones: uso de tierra o agua, requisitos de conexión a la red.

Los datos de las entradas se resumen en el Cuadro 1. Todos los valores se han optimizado para cada uno de los diferentes escenarios expuestos anteriormente.

Tabla 1. Parámetros de entrada.

	Nomenclatura	Valor	Unidad
Potencia total instalada	-	215 → 2066	MW
Potencia de eólica	W	14 → 788	MW
Potencia de fotovoltaica	PV	14 → 788	MW
Potencia del almacenamiento de energía eléctrica por baterías	BESS	0 → 188	MW
Potencia turbina de vapor. Plantas Solares Concentradas (CSP)	ST	0 → 115	MW
Potencia del combustible fósil	FF	187	MW
Potencia del almacenamiento de energía térmica	TES	0 → 20	h
Múltiplo solar	sm	0 → 2	-

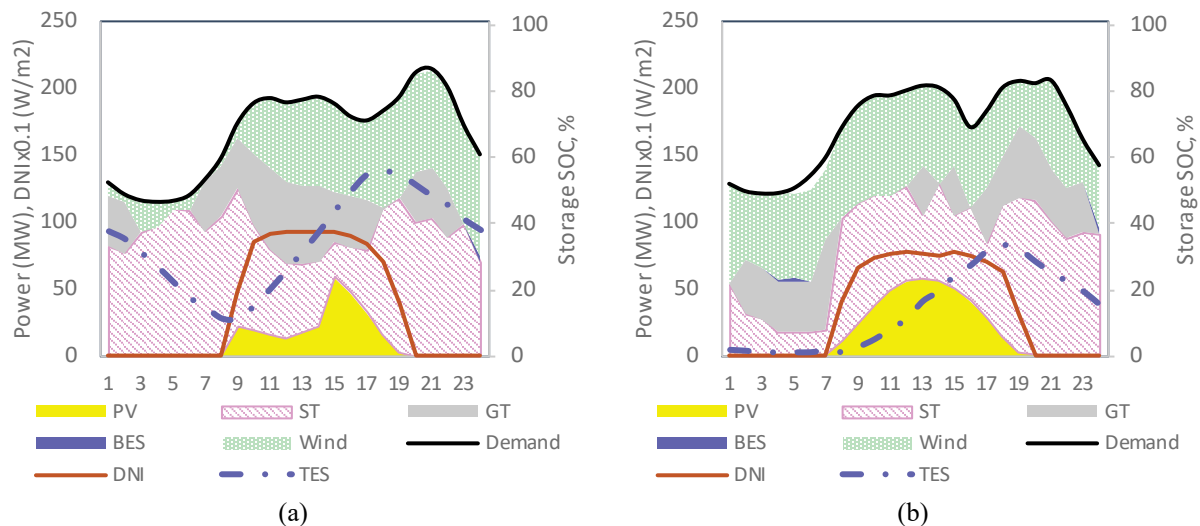
Hipótesis

En este trabajo, tanto los costos de inversión (CAPEX) como de operación (OPEX, precios de combustibles fósiles) se consideran constantes en el tiempo.

Se supone que el crecimiento de la demanda es lineal, teniendo en cuenta tanto el crecimiento de la población de casos básicos como las estimaciones simplificadas para la adopción de la movilidad eléctrica (60% de la tasa de sustitución para 2050). La potencia del combustible fósil es fija, siendo su valor el que está actualmente en la isla. Las plantas de CSP instaladas son constantes en el tiempo. El valor mínimo de firmeza será del 95%.

Análisis Llevados a Cabo

Utilizando el software SRH-M desarrollado en GRIDSOL, en la ubicación seleccionada, el funcionamiento de la mezcla de generación ya sea la existente o la optimizada mediante SRH-M, se simula y se gestiona con el objetivo de abordar los perfiles de demanda de energía por hora de los escenarios de demanda (Fig. 1). Se estima el valor de inversión requerido y los costos esperados de electricidad.



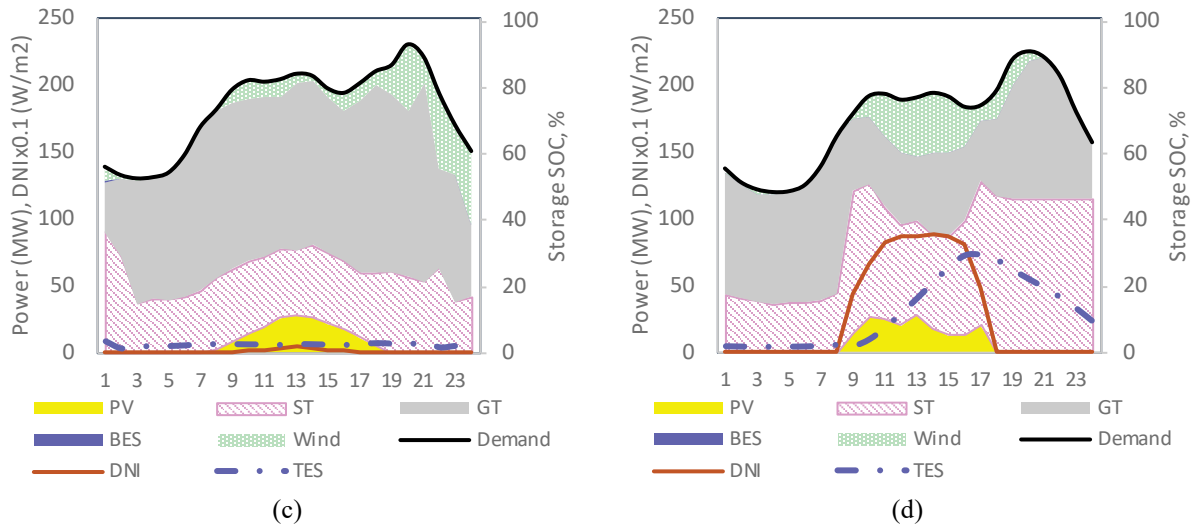


Fig. 1. Perfil de producción diario de cada día de inicio de estación, (año 2017). a) primavera, b) verano, c) otoño, d) invierno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para tener una referencia de comparación, los mix energéticos optimizados se comparan con variaciones impulsadas por la tecnología, es decir, añadiendo una sola tecnología o combinación de tecnologías a la mezcla actual hasta que se obtenga el mismo contenido RE. En las siguientes cifras, las variaciones impulsadas por la tecnología se descartan cuando la restricción RE total supera el 50%.

Los resultados mostrados en la Fig. 2 sugieren que PV y eólica tienen el menor costo inicial, pero, cuando se desea una gran parte de la generación renovable, el tiempo de entrega se convierte en un problema: los costos unitarios de la energía entregada a la red aumentan debido a la reducción, con baterías ligeramente moderando la escalada de costos hasta que, para escenarios de contenido RE muy altos, el LCOE se dispara. La combinación de PV y eólica con baterías permite un contenido renovable por encima del 85% con un LCOE similar al escenario actual; un sistema totalmente renovable, sin embargo, requiere un mix más exhaustivo que GRIDSOL es capaz de definir.

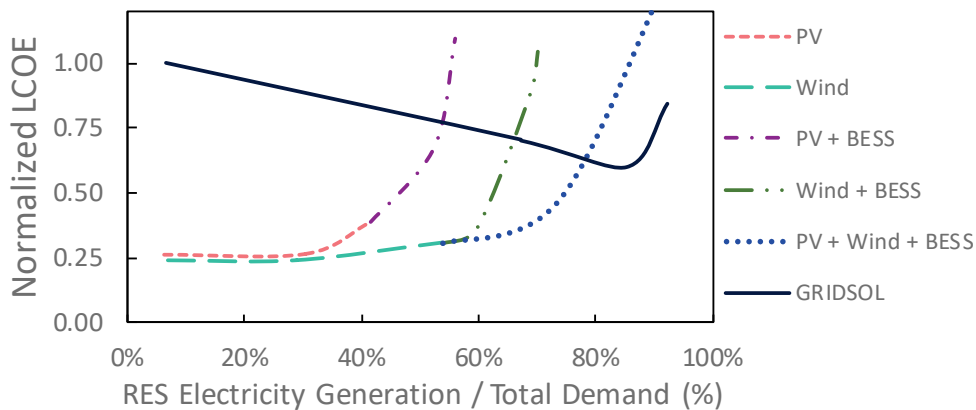


Fig. 2. LCOE normalizado vs Generación de electricidad RES / Demanda total de la isla.

La fig. 3 muestra la evolución del LCOE del sistema cuando se añade energía renovable adicional en un enfoque basado en la tecnología, y lo compara con la optimización de GRIDSOL. Con el enfoque propuesto, la combinación de PV y eólica ocurre antes, así como el uso de baterías, siguiendo el camino de LCOE mínimo. Para un mayor contenido de RE, CSP con TES desempeña un papel importante en mantener bajos los costos generales del sistema.

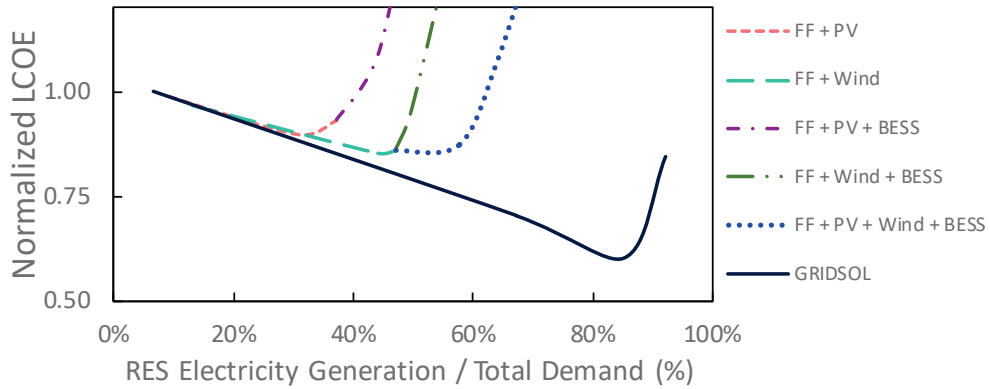


Fig. 3. LCOE normalizado vs Generación de electricidad RES / Demanda total de la isla.

Desarrollo de una Hoja de Ruta para Demandas Futuras.

A medida que el sistema evoluciona, impulsado por los cambios en la demanda y las mejoras tecnológicas, el mix energético óptimo también cambia. El SRH-Modeler puede definir la ruta de menor costo mediante la búsqueda de la combinación de energía óptima para cada escenario futuro, utilizando resultados pasados y futuros como condiciones límite. De esta manera, se supone que tanto las plantas existentes como las nuevas terminan su vida útil antes de ser reemplazadas.

Al llevar a cabo la optimización para los diferentes horizontes temporales (2020, 2030, 2040 y 2050), se ha encontrado que el crecimiento RE sigue una curva logarítmica/sigmoide que denota un límite de saturación cuando el contenido RE se acerca al 100%.

La Fig. 4 representa la evolución sugerida para el sistema, con el objetivo de alcanzar el 95% del contenido renovable para el año 2050, para el caso en que las plantas CSP se instalen en el 2020. La mayoría de las plantas nuevas son PV y Eólica, incluyendo las baterías desde el principio, a pesar de su costo, para aprovechar las ventajas de la generación barata. Las plantas de CSP se han mantenido constante desde 2020, suponiendo que su desarrollo fuera más complejo en zonas insulares debido a las limitaciones de disponibilidad de la tierra. Dada la limitada productividad de PV y Eólica (en términos de kWh/kW por año), la potencia total instalada necesaria para atender la demanda crece significativamente, lo que podría requerir mejoras en las redes de transmisión y/o distribución.

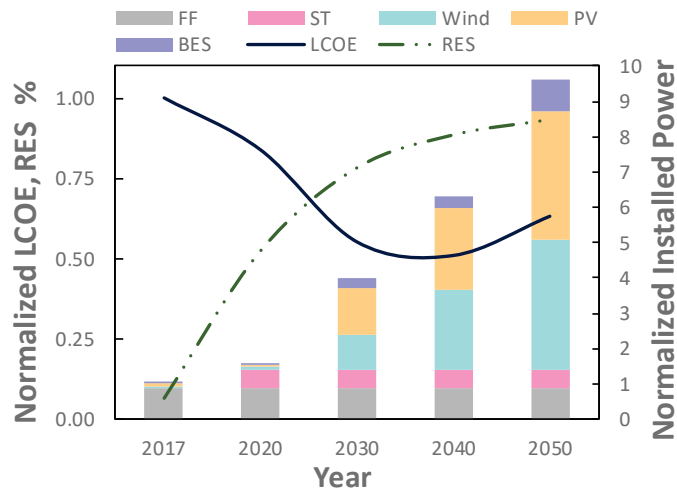


Fig. 4. LCOE normalizado y porcentaje de energía renovable vs año. Las plantas de CSP se instalarían en 2020.

La Fig. 5 representa la otra evolución sugerida para el sistema, destinada a alcanzar el 95% del contenido renovable para 2050, para el supuesto caso de que las CSP se instalaran en 2030 en lugar de 2020. La principal diferencia es que, para la Fig. 4, la pendiente de la curva LCOE es cóncava en la parte entre 2017 y 2030, y en la Fig. 5, para el mismo intervalo de tiempo, la pendiente es convexa. Esto se debe al uso de PV y Eólica en lugar de plantas CSP en 2020, en el escenario de la Fig.5.

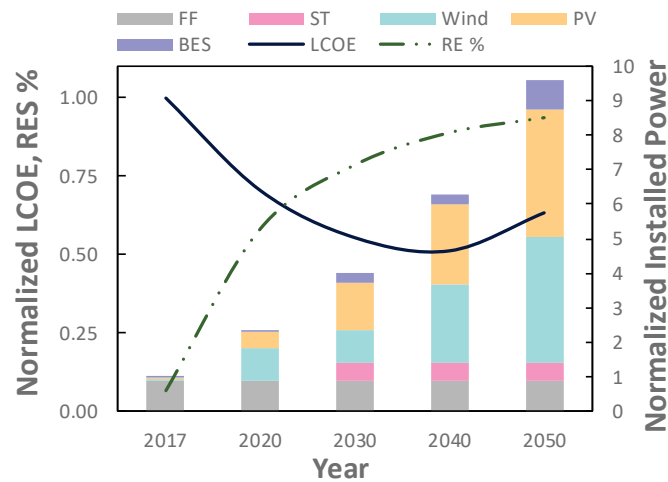


Fig. 5. LCOE normalizado y porcentaje de energía renovable vs año. Las plantas de CSP se instalarían en 2030.

Cabe señalar que, si bien la opción representada en la Fig. 5 tiene un costo menor que la de la Fig. 4, reduciendo la generación de LCOE para este período, la potencia total instalada se multiplica más de dos veces, y es cuestionable si la infraestructura de la red podría ser capaz de para mantener el ritmo planteado.

CONCLUSIONES

Un sector eléctrico totalmente renovable se ve venir a un futuro inmediato, pero encontrar el camino que minimice el costo de esta transición no es tarea fácil.

En redes aisladas, donde la seguridad del suministro es el factor clave de conducción, GRIDSOL propone extrapolar las herramientas utilizadas para Smart Renewable Hubs, postulados originalmente como híbridos multi-tecnológicos dentro de una red más grande, para encontrar el mix energético óptimo que minimice el costo de generación en el sistema eléctrico.

Simplemente añadir generación renovable barata a la mix energético es suficientemente bueno si el objetivo de contenido RE es bajo (en nuestro caso, hasta un 25%) pero, si se desea una fracción RE verdaderamente significativa, adaptar el despliegue a los recursos disponibles y, lo que es más importante, determinar los requisitos de almacenamiento a nivel del sistema (es decir, desarrollar instalaciones de BES independientes más grandes y compartidas en lugar de incluir las más pequeñas en plantas individuales) ayudarían a lograr unos costos de generación mínimos.

Ni las necesidades de inercia ni las limitaciones técnicas se han considerado cuantitativamente; los trabajos futuros a este si las incluirán en el análisis.

Este tipo de hoja de ruta es una herramienta útil para los responsables de la formulación de políticas energéticas, los servicios públicos u otras partes interesadas dispuestas a evaluar el desarrollo futuro de redes aisladas, o cualquier otro sistema en el que la seguridad del suministro sea imprescindible.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto GRIDSOL, que recibió financiación del Consejo Europeo de Investigación (ERC) en el marco del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea (acuerdo de subvención N.º 727362).

REFERENCIAS

Y. Yasuda, D. Flynn, D. Lew, L. Bird, A. Forcione, S. Martin-Martinez, E. M. Carlini, E. G. Lazaro, J. McCann, A. Estanquero, P. Higgins, N. Menemenlis, H. Holttinen and J. C. Smith, "International PV Comparison of Wind and Solar Curtailment Ratio," Proceedings of WIW2015 Workshop, Brussels, 2015.

J. Servert, D. López, E. Cerrajero, A. R. Rocha, D. Pereira and L. González, "Tailoring HYSOL: Solar Energy Contribution to Reach Full Dispatchability and Firmness in Target Markets," Procedia Computer Science, vol. 83, pp. 1134-1141 (2016).

GRIDSOL Consortium, "GRIDSOL Project Webpage," 2017. [Online]. Available: www.gridsolproject.eu.

J. Servert, D. Lopez, E. Cerrajero, A. R. Rocha, D. Pereira and L. Gonzalez, "Solar hybrid power plants: Solar energy contribution in reaching full dispatchability and firmness," AIP Conference Proceedings, vol. 1734, no. 1, pp. 080005(1-9), (2016).

J. Servert, E. Cerrajero, D. López, S. Yagüe, F. Gutiérrez, M. Lasheras and G. San Miguel, "Base Case Analysis of a HYSOL Power Plant," Energy Procedia, vol. 69, pp. 1152-1159 (2015).

J. Servert, E. Cerrajero, "Smart Renewable Hubs: Multi-Hybridization to Achieve High RE Penetration in a Grid-Friendly Manner," Proceedings of SolarPACES, Chile, 2017.