

Desalación con Energía Geotérmica

Héctor Miguel Aviña Jiménez

Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D.F. Grupo iiDEA

Correo: havinaj@iingen.unam.mx

Resumen

Se presenta un análisis para instalar plantas desaladoras geotérmicas en los lugares que cumplan con las características necesarias para hacer factibles los proyectos. El uso de tecnologías energéticas renovables como la geotérmica, para la desalación de agua de mar tiene aplicaciones muy escasas en el mundo, dado que se deben combinar una serie de factores como son: la existencia de un recurso geotérmico disponible en el sitio, necesidades de agua potable que no puedan ser cubiertas en forma convencional en el mismo sitio y fuentes de agua no potable disponibles en la zona, como el agua de mar. La combinación de estas circunstancias alrededor del mundo es realmente escasa, puesto que si bien varias zonas costeras podrían requerir plantas desaladoras muy pocas disponen de recursos geotérmicos. Sin embargo, en México se presenta esa combinación de condiciones favorables en diversos sitios de la península de Baja California, entre los cuales están Ensenada, Puertecitos, San Felipe, San Quintín, La Paz y Los Cabos. Por ello en el país existe la posibilidad de estudiar, analizar, desarrollar y optimizar esta tecnología como en muy pocas partes en el mundo.

Palabras clave: Uso directo, factibilidad, Baja California, recursos geotérmicos de baja temperatura, energía alternativa.

Desalination using geothermal energy

Abstract

A detailed analysis of the potential for installing seawater desalination plants by using geothermal energy is presented, on sites fulfilling all the requirements to make the projects feasible. Using renewable energies, like geothermal energy, for desalination of seawater is scarce in the world since several factors must combine in one site: potential geothermal resources in the site, demand of fresh water under a shortage scenario that cannot be supplied by conventional technologies, and abundance of non-potable water sources in the surroundings, for instance the presence of seawater. Due to these constraints, few sites in the world present these three requirements. Many coastal areas could require desalination plants, but only few present geothermal sources in their surroundings. However, there are some areas in Mexico where all these constraints concur, particularly in the Baja California Peninsula, among which are Ensenada, Puertecitos, San Felipe, San Quintín, La Paz and Los Cabos. Thus, it is possible to study, assess, analyze, develop and optimize this application.

Keywords: Direct use, feasibility, Baja California, low enthalpy geothermal resources, alternative energy.

Introducción

El Instituto de Ingeniería de la UNAM mediante el grupo iiDEA está desarrollando investigación aplicada para el aprovechamiento de los recursos nacionales, especialmente la geotermia de baja entalpía. En México la geotermia es un recurso que se ha explotado por más de 60 años, principalmente para generación eléctrica y muy poco en usos directos. México ocupa el cuarto lugar mundial en capacidad geotermoeléctrica instalada con más de mil megawatts. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) opera actualmente cuatro campos geotérmicos: Cerro Prieto, en Baja California, con 720 MW de los

cuales están en operación 570 MW, Los Azufres en Michoacán, con 224.6 MW, Los Humeros en Puebla, con 93.6 MW y Las Tres Vírgenes, en Baja California Sur, con 10 MW. Por su parte el Grupo Dragón ha desarrollado un campo geotérmico en el Domo San Pedro, Nayarit, donde opera dos unidades de 5 MW cada una, que se instalaron desde febrero de 2015. Adicionalmente, se espera que en 2016 entre en operación una planta de 25 MW de capacidad neta. Este es el primer campo geotérmico de propiedad y operación privada en México, desarrollado al amparo del antiguo marco regulatorio previo a la entrada en vigor de la reforma energética, en general, y de la Ley de Energía Geotérmica, en particular. La capacidad geotermoeléctrica de México representa poco menos del 2% de la capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

Existen diferentes maneras de clasificar a los campos y sistemas geotérmicos, dependiendo de si hay fluidos o sólo se trata de roca seca caliente, el estado físico del agua, la composición de la salmuera geotérmica, la presión de salida de los pozos o las temperaturas de los fluidos y/o de las rocas del subsuelo. Esta última da lugar a una de las clasificaciones más empleadas, a partir de la cual se habla de campos y yacimientos geotérmicos de alta, media o baja temperatura (o entalpía), con diferentes rangos de temperatura para cada caso.

Generalmente, los yacimientos de alta entalpía se aprovechan para generar energía eléctrica mediante plantas a condensación, debido a su alto potencial, mientras que los de media entalpía pueden utilizarse también para generar energía eléctrica con plantas de ciclo binario, o bien en diferentes procesos de la industria textil, metalúrgica o agropecuaria que requiere calor. Finalmente, los recursos de baja entalpía se emplean en aplicaciones domésticas, de aire acondicionado o balnearios.

En general el uso de recursos geotérmicos de baja entalpía (temperatura menor de 150°C) para la generación eléctrica es prácticamente nulo en México. El uso directo del calor es una de las formas más antiguas, versátiles y comunes de la utilización de la energía geotérmica. Las aplicaciones en baños, calefacción ambiental y distrital, en agricultura, acuicultura y algunos usos industriales constituyen las formas más conocidas de uso, pero las bombas de calor son las más generalizadas a nivel mundial. En menor escala hay muchos otros tipos de utilización, siendo algunos de ellos poco usuales.

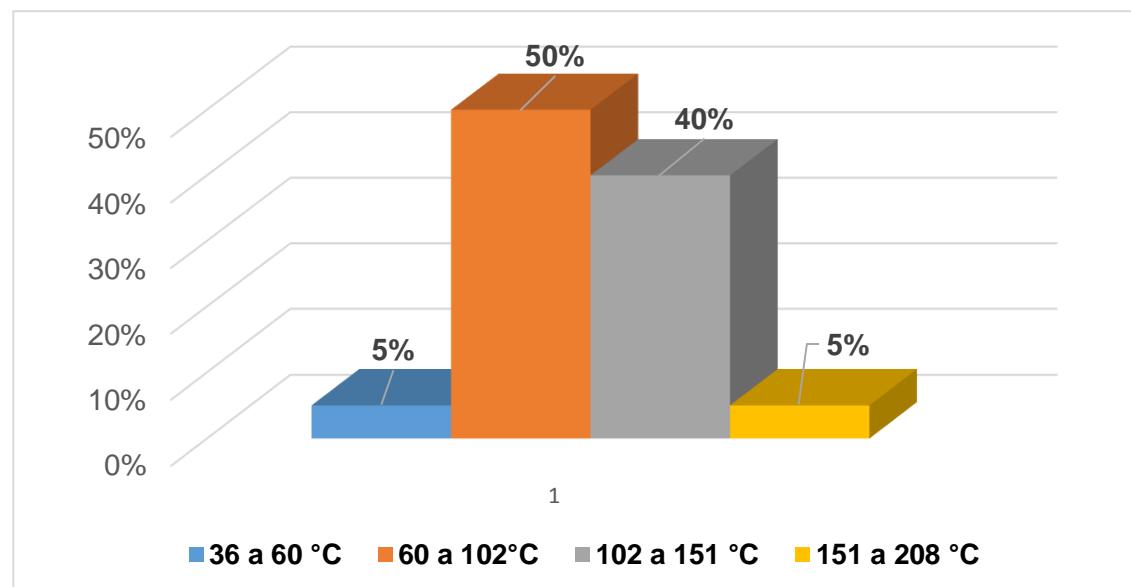


Fig. 1. Distribución porcentual de los recursos geotérmicos en México, por intervalo de temperaturas (con datos de Iglesias et al., 2011).

En la Figura 1 se muestra la distribución porcentual de los recursos geotérmicos en México de acuerdo a su rango de temperatura. Se puede notar que el 90% se encuentra en un rango de 60°C a 150°C, por lo que es evidente que la mayor parte de los recursos geotérmicos conocidos en el país son de baja entalpía, mientras que sólo el 5% de los recursos, es decir los de temperatura superior a 150°C, son los que se han utilizado ampliamente a la fecha para generar energía eléctrica en los campos geotérmicos mencionados antes.

Desalación de agua de mar con energías renovables

En los últimos años se ha experimentado una fuerte aportación de nuevas tecnologías e investigación en el campo de la desalación de agua de mar apoyada con energías renovables, al tiempo que se han observado importantes avances en las plantas desaladoras convencionales (térmicas y eléctricas). Ha ocurrido un notable aumento de eficiencia y reducción de costos en estas tecnologías, que hacen competitivas esta combinación de técnicas. En el mundo ha habido algunas plantas demostrativas implementando tecnologías combinadas que obtienen volúmenes desalados más bien bajos, de un máximo de 100 m³/día (MEDRC, 2001). La mayoría de las propuestas son desaladoras apoyadas con energía solar, de las cuales una minoría ha tenido éxito industrial. Sin embargo, han servido como base a la investigación de nuevas tecnologías y al aumento de eficiencia.

No todas las combinaciones de energías renovables apoyando la desalación de agua de mar son adecuadas, ya que se deben evaluar varios factores, como las condiciones geográficas, la topografía del lugar, la calidad del agua a desalar, la infraestructura, la capacidad y la disponibilidad de la fuente renovable de energía a utilizar. En muchos lugares de México se cumple satisfactoriamente con los requisitos necesarios para combinar esas tecnologías.

Desalación de agua de mar con energía geotérmica

En el mundo, las tecnologías renovables más empleadas la solar y la eólica, ya que los recursos geotérmicos no están disponibles en todos los países. Pero México posee amplios recursos geotérmicos debido a su posición geográfica. Adicionalmente geotermia presenta grandes ventajas sobre otras tecnologías renovables debido a que las plantas geotermoelectrivas tienen factores de planta arriba del 80% y en algunas, como en México llegan a más del 90%. Así se cuenta con un recurso continuo, cuyo almacenaje es natural y es predecible (Barbier, 2002). Finalmente, la energía geotérmica es la energía renovable con el mejor costo por kilowatt-hora generado, como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Costos de generación de electricidad con fuentes renovables (Fuente: SENER, 2011, con datos del World Energy Outlook, 2010).

TIPO DE ENERGÍA	Costo 2010-2020			Costo 2021-2035			ÍNDICE DE APRENDIZAJE
	(US\$ de 2009 por MWh)			(US\$ de 2009 por MWh)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	
Biomasa	119	148	131	112	142	126	5%
Eólica terrestre	63	126	85	57	88	65	7%
Eólica marina	78	141	101	59	94	74	9%
Geotérmica	31	83	52	31	85	46	5%

Solar FV- gran escala	195	527	280	99	271	157	17%
Solar FV- edificios	273	681	406	132	356	217	17%

Los recursos geotérmicos de alta entalpía permiten el uso mecánico directo de potencia en el eje de las bombas de alta presión de las desaladoras por osmosis inversa, y los recursos geotérmicos de media y baja entalpía se podrían ocupar mediante sistemas de aprovechamiento de uso directo.

La utilización de fluidos geotérmicos directamente como energéticos a las plantas de desalinización es algo ya estudiado y probado en algunos lugares con potencial geotérmico. Además, con los avances en la tecnología de materiales para aumentar la transferencia de calor y la resistencia a la corrosión, el uso directo de recursos de hasta 60°C mínimo, se ha convertido en una solución prometedora. A continuación se reportan algunos casos de la utilización de la geotermia como recurso principal de energía para las plantas desaladoras en varias partes del mundo.

Casos de estudio de aprovechamientos geotérmico para desalación

El primer caso de estudio ocurrió en Estados Unidos en los años setenta con varias pruebas para utilizar el recurso geotérmico para tecnologías de desalación tipo MSF y MED (Awerbuch et al., 1976). Otro ocurrió en Argelia, país con gran potencial geotérmico de baja entalpía con recursos que llegan a 98°C a escasa profundidad, específicamente en la zona norte de Argelia, el Atlas Atiliano, el Altiplano y el Atlas Sahariano (Mahmoudi et al., 2010). Se propuso un invernadero en el cual se calentaría agua de mar con recursos geotérmicos y se recuperaría el destilado, todo ello apoyado con energía solar mediante un sistema híbrido. Como este caso, se han hecho muchas pruebas de complementar la energía solar con energía geotérmica.

El único caso de estudio, hasta el momento, en el que se maneja una aplicación de desalación totalmente cubierta con energía geotérmica es el caso de la isla de Milos en Grecia. Milos está ubicada en el arco volcánico del Egeo y se caracteriza por la abundancia de recursos geotérmicos. El objetivo principal del proyecto fue construir y operar una planta geotérmica de baja entalpía mediante un ciclo binario orgánico con una capacidad de 470 kWe y con una eficiencia del 7%, la cual proveería de energía térmica y eléctrica a una planta desaladora (destiladora) tipo MED con capacidad de producir 80 m³/h. La única fuente de energía considerada para este proyecto es calor geotérmico. Se prevé que la planta sea totalmente autosuficiente en energía térmica y eléctrica y se estima un costo de 1.5 euros por cada metro cúbico desalado. Los pozos para la planta geotérmica tienen un rango de temperaturas de 55 a 100°C, con una profundidad que va de 70 a 185 m, y producen un gasto de fluido geotérmico de 550 m³/h. Una de las principales conclusiones de esta aplicación en Grecia es que demostró la viabilidad de acoplar la tecnología de la desalación con recursos geotérmicos de baja entalpía.

Recursos geotérmicos de Baja California

El Instituto de Ingeniería y el Instituto de Geofísica de la UNAM han implementado un plan de desarrollo tecnológico para evaluar y caracterizar los recursos geotérmicos, de agua caliente de mar o de pozo (60-140°C) de la península de Baja California. Como resultado se detectaron muchos puntos donde se pueden obtener grandes volúmenes de agua a temperaturas superiores a los 130°C a la salida del pozo, sólo con perforar pozos de 100 a 200 metros de profundidad. Uno de los objetivos de estos estudios es ubicar el mejor sitio para la perforación de un pozo que provea fluido caliente a temperaturas cercanas a los 200°C, según estimaciones previas (Prol Ledesma et al., 2015). Como otro resultado de las inspecciones preliminares, se localizaron zonas de interés en Los Cabos, La Paz, Puertecitos, San Felipe, Punta Banda, entre otros (Figura 2). En Los Cabos, al perforar uno de los pozos playeros para

alimentar una planta desaladora de agua por ósmosis inversa, se encontraron temperaturas de hasta 84°C a sólo seis metros de profundidad. De manera análoga, al realizar este estudio en las playas de Punta Banda se encontraron manantiales con agua salobre con temperaturas mayores a los 50°C en la superficie (Alcocer e Hiriart, 2008).



Fig. 1. Recursos geotérmicos en la península de Baja California

De las zonas exploradas, La Joya, en Ensenada, es uno de los sitios con mayor potencial geotérmico de baja entalpía, por lo que se han realizado campañas de exploración geotérmica detallada para evaluar el potencial energético de la zona. Ahí se han encontrado temperaturas de hasta 93°C a un metro de profundidad (Aviña y Monzalvo, 2008).

Todas esas áreas son importantes porque en ellas confluyen los requisitos mencionados al principio: recursos geotérmicos, necesidad de agua potable y agua de mar ilimitada.

Propuesta de desarrollo de desaladora térmica con energía geotérmica

El proyecto iiDEA (antes IMPULSA IV) del Instituto de Ingeniería UNAM tiene como objetivo el diseño e implementación de sistemas que desalen agua de mar con energías renovables para satisfacer la demanda de agua en el país. Anteriormente se localizaron puntos de probable potencial geotérmico de

baja entalpía en el país, apareciendo la Península de Baja California como una zona ideal para la utilización de ese tipo de recursos geotérmicos para la instalación de sistemas modulares de desalación.

Se trabajó de manera teórica y con un prototipo la posibilidad de modificar un sistema MED aprovechando el recurso geotérmico como fuente energética. Se realizó una modelación básica y se determinó la configuración y principios básicos de funcionamiento. En la Tabla 2 se presenta el resultado de las evaluaciones a diversos sistemas modificados de desalación MED empleando recursos geotérmicos de baja entalpía como fuente térmica para la desalación. La alimentación es en paralelo, en serie o en una combinación de ambas.

Tabla 2. Parámetros de sistemas MED con geotermia de baja entalpía

	Paralelo	Serie	Propuesta 1	Propuesta 2	MED LE
Agua de alimentación [m³/h]	66	54	359	71	92
Destilado [m³/h]	21.5	20.2	16.5	26.6	27.8
Recuperación [-]	33%	37%	5%	37%	30%
Potencia bombas [kW]	18.8	24.6	95.8	40.5	26.7

Es necesario mencionar que estos resultados fueron un análisis termodinámico preliminar donde las propiedades del agua de mar y del recurso geotérmico se consideraron como agua pura. Además no se estimó el consumo energético del sistema de generación de vacío necesario en el proceso de evaporación. No obstante, los resultados fueron apropiados para la implementación del sistema y su configuración.

Al modelo propuesto se le dio el nombre de MED-LE (MED Low Enthalpy) haciendo referencia al tipo de recurso empleado. Este tiene el mismo principio de operación que un sistema MED convencional para la evaporación, pero difiere en el arreglo y equipamiento. Sus principales características aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3. Características operativas de sistemas MED convencionales y MED-LE.

	MED convencional	MED-LE
FUENTE ENERGÉTICA	Vapor	Recurso geotérmico de baja entalpía (líquido)
TEMPERATURAS DE OPERACIÓN	< 70°C	85°C
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO	Primer Efecto (cámara de evaporación)	El recurso es empleado en el Primer Efecto. Posteriormente se aprovecha en cámaras subsecuentes mediante intercambiadores secundarios inferiores.
GENERACIÓN DE VACÍO	Eyectores de vapor	Hidroeyectores, eyectores de aire comprimido, turbocompresores

El esquema básico del sistema MED-LE se presenta es mostrado en la Figura 3. El sistema funciona con base en la evaporación de una toma de agua de mar en paralelo. Es importante recalcar que la modificación más importante es que el agua caliente (la fuente de calor) no se desecha, sino que continúa aprovechándose a través de los demás efectos cediendo su energía para producir más vapor. Esta modificación hace que se mejore la eficiencia del proceso, lo que se logra por la reducción del consumo energético por producto.

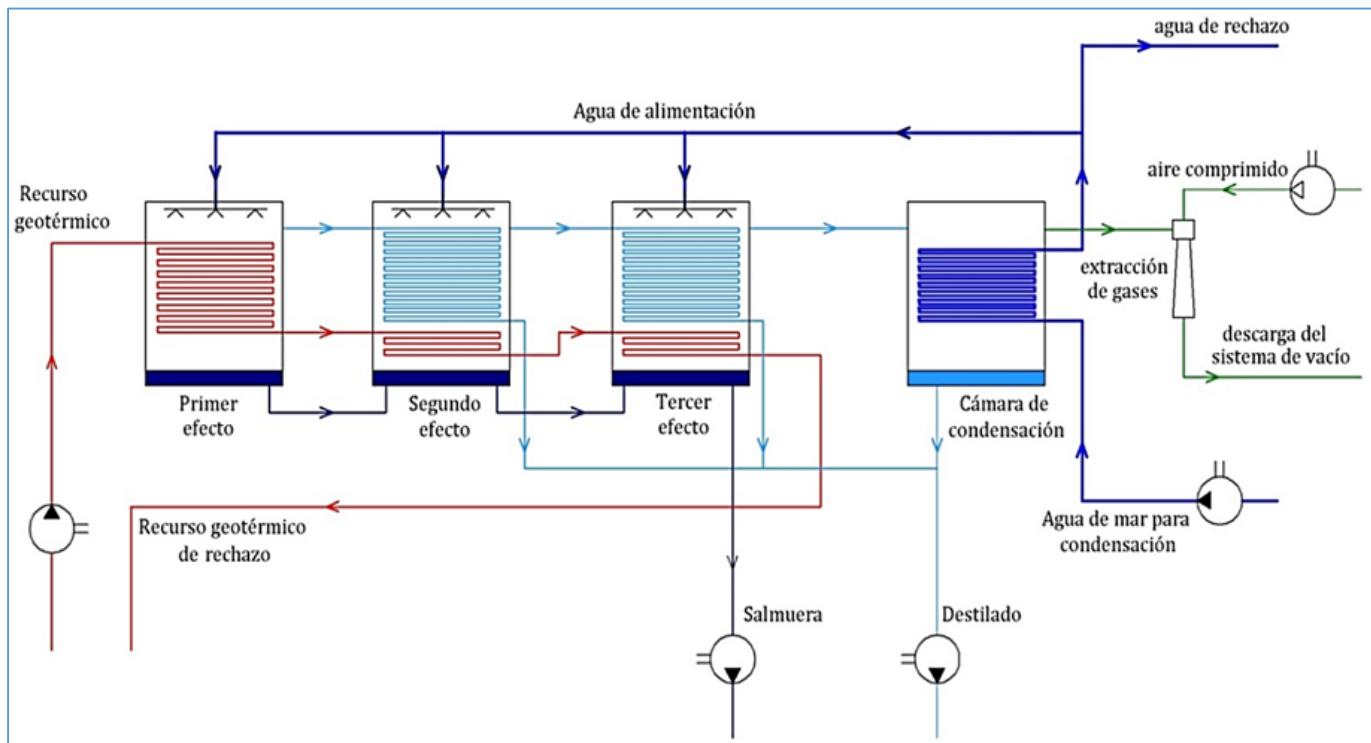


Fig. 2. Configuración sistema MED-LE para aprovechar recursos geotérmicos de baja entalpía en procesos de desalación.

Una dificultad en este sistema es que ya no se cuenta con un fluido motriz para generar el vacío. El sistema de generación de vacío permite modificar la temperatura de evaporación del agua de mar, generando la mezcla bifásica vapor/agua salina. Para esto se ha considerado emplear un sistema de eyectores de aire comprimido. Junto con el análisis termodinámico del sistema, se considerará la potencia necesaria para generar este vacío y eventualmente estimar el costo nivelado del agua producto.

Conclusiones

El uso de tecnologías renovables como la geotérmica para la desalación de agua de mar presenta muy escasas aplicaciones en todo el mundo, ya que se debe combinar una serie de factores como la existencia de recursos geotérmicos accesibles en el sitio, necesidades de agua potable que no puedan ser cubiertas en forma convencional y fuentes de agua no potables disponibles en la zona. La combinación de estas circunstancias en un solo sitio es poco frecuente en muchas partes del mundo, pero en México sí se presenta, particularmente en la Península de Baja California. Ello permite estudiar, analizar, desarrollar y optimizar esta aplicación.

El sistema MED-LE diseñado por el proyecto iiDEA propone un sistema eficiente que utiliza recursos renovables para producir agua desalada, mitigando la problemática de la distribución de agua de mar

en sectores aislados del noreste del país. El sistema también evita el negativo impacto ambiental que conlleva el uso de procesos de combustión en otras tecnologías de desalación.

Entre los sitios de interés en la Península de Baja California, que cumplen con los requisitos mencionados, están Ensenada, Puertecitos, San Felipe, San Quintín, La Paz y Los Cabos.

Referencias

- Alcocer, S., and G. Hiriart, 2008. An applied research program on water desalination with renewable energies. *Am. J. Environ. Sci.*, 4, pp. 204-211.
- Aviña, H., y M. Monzalvo, 2008. Reporte de Trabajo, Exploración La Joya 1, Proyecto IMPULSA UNAM. Inédito.
- Awerbuch, L., T.E. Lindemuth, S.C. May and A.N. Rogers, 1976. Geothermal energy recovery process. *Desalination*, 19, pp. 325-336.
- Barbier, E., 2002. Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, pp. 3-65.
- Iglesias, E., R.J. Torres, J.I. Martínez-Estrella y N. Reyes-Picasso, 2011. Resumen de la evaluación 2010 de los recursos geotérmicos mexicanos de temperaturas intermedia a baja. *Geotermia*, Vol. 24, No. 2., pp. 39-48.
- Mahmoudi, H., N. Spahis, M.F. Goosen, N. Ghaffour, N. Drouiche, and A. Ouagued, 2010. Application of geothermal energy for heating and fresh water production in a brackish water greenhouse desalination unit: A case study from Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 512-517.
- MEDRC, 2001. R&D Report. Matching Renewable Energy With Desalination Plants. *IT Power, Ltd.*
- Prol Ledesma, R.M., I. Arango and V. Torres, 2015. Geothermal prospects in the Baja California Peninsula. *Geothermics*, 55, pp. 39-57.
- SENER, 2011. Prospectiva de Energías Renovables 2011-2025.