



ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ESTADO DE SONORA

* JORGE LUIS TADDEI BRINGAS, MARÍA DE LOS ÁNGELES NAVARRETE HINOJOSA, PABLO DANIEL TADDEI ARRIOLA, RAFAEL CABANILLAS LÓPEZ

La etapa de uso de combustibles fósiles está llegando a su fin, debido principalmente a la escasez y problemas de contaminación que originan. En la actualidad existe una marcada tendencia a aprovechar las fuentes renovables de energía, por su bajo impacto ambiental y menor emisión de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual contribuye a independizar las políticas energéticas locales de las del mercado global, basadas en la supremacía petrolera. Para obtener el mayor provecho de las energías renovables, es importante determinar el potencial de los distintos recursos energéticos existentes en una región. En este trabajo se presenta una relación del potencial para explotar energías renovables en el estado de Sonora, México, como un paso previo para establecer acciones y políticas que busquen su posible utilización a gran escala.

DR. JORGE LUIS TADDEI BRINGAS
Ingeniería Sustentable, División de Ingeniería,
Universidad de Sonora
Correo: jtaddei@industrial.uson.mx
DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES NAVARRETE HINOJOSA
Planeación Estratégica, División de Ingeniería,
Universidad de Sonora
Correo: mnavarrete@industrial.uson.mx

I.I. PABLO DANIEL TADDEI ARRIOLA
Ingeniería Sustentable, División de Ingeniería,
Universidad de Sonora
Correo: pablo.taddei@industrial.uson.mx
DR. RAFAEL CABANILLAS LÓPEZ
Energía Solar, División de Ingeniería,
Universidad de Sonora
Correo: rcabani@iq.uson.mx

*Autor para correspondencia: Jorge Taddei Bringas
Correo electrónico: jtaddei@industrial.uson.mx
Recibido: 14 de septiembre de 2014
Aceptado: 03 de noviembre de 2014
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

Energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana. El sol está en el origen de todas ellas porque su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que provoca la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del sol procede la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

Para contextualizar el potencial de las energías renovables (ER) en Sonora, se efectúa una breve explicación de la situación internacional, luego se presentan las definiciones de cada una de las fuentes de ER y se resume su aplicación en México.

Con relación al contexto internacional en 2013 la capacidad instalada de energías renovables alcanzó niveles récord ya que aumentó 8.3% con respecto a la existente en 2002; las ER representan el 56% del crecimiento que en ese período ha tenido la capacidad eléctrica global. Las ER satisfacen actualmente casi una quinta parte del consumo mundial de energía [1].

Para 2013, los cinco países con mayor capacidad instalada de ER para generación de electricidad (sin incluir las plantas hidroeléctricas), son: China (118 GW), Estados Unidos (93 GW), Alemania (78 GW), España (32 GW) e Italia (31 GW).

Del contexto mundial pasamos al nacional, presentando una breve descripción de las principales ER utilizadas para producción de energía eléctrica y su situación en México. La información se toma de la base datos publicada por la Secretaría de Energía (SENER) en el Balance Nacional de Energía 2012 [2]. Finalmente se presenta un panorama general de las ER y su potencial en el estado de Sonora

ENERGÍA HIDRÁULICA

El agua de una presa con su potencia hidráulica disponible, pasa por una turbina, la cual la transforma en potencia mecánica y ésta a través de un generador, la convierte en potencia eléctrica. Luego pasa a los transformadores, para iniciar su viaje a los centros de consumo.

En México, la capacidad de generación hidráulica para servicio público, se integra por 94 unidades en 42 centrales, con una capacidad total de 11,707 MW.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

Es energía calorífica proveniente del núcleo de la Tierra, la cual se desplaza hacia la superficie a través de las fisuras existentes en las rocas sólidas y semisólidas de su interior.

De acuerdo con datos de CFE, a fines del 2012 se encontraban en operación 38 unidades de generación geotermoeléctrica, con una capacidad total instalada de

823 MW; la más grande de ellas es la central de Cerro Prieto cerca de Mexicali.

ENERGÍA EÓLICA

La energía cinética del viento puede transformarse en energía, tanto mecánica como eléctrica. La energía eólica es una opción limpia, pero la instalación de un parque (granja eólica) puede producir un impacto ambiental – sobre todo en paisaje y fauna- que es necesario evaluar de acuerdo a las condiciones del entorno físico, biológico y social.

Con relación a la capacidad de generación eoloeléctrica para el servicio público, la CFE tuvo en operación, hasta finales de 2012, las centrales de La Venta en Oaxaca (84.7 MW), Guerrero Negro en Baja California Sur (0.6 MW) y el generador de la COP 16 (1.5 MW), lo que suma una capacidad total de generación de 86.8 MW.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante sistemas fotovoltaicos. Los módulos o paneles son arreglos de celdas solares (que transforman la luz en electricidad).

En México, a partir de la publicación de los instrumentos regulatorios que facilitan la interconexión de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, la CFE registró una capacidad adicional instalada de estos sistemas en pequeña y mediana escala por 3.48 MW, entre 2010-2011.

ENERGÍA TERMOSOLAR

La energía solar térmica se basa en la concentración de la radiación solar, a fin de llevar un fluido a suficiente temperatura para accionar motores (turbinas) térmicos que van acoplados a generadores eléctricos. También se han desarrollado sistemas híbridos, que combinan dos sistemas: uno tradicional, sobre la base de un combustible convencional, más el vapor, proveniente de una fuente solar activa de alta temperatura, que conforman lo que se conoce como ciclo combinado.

Actualmente, en México no se cuenta con centrales en operación que utilicen este tipo de tecnologías de aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, en el estado de Sonora se encuentra en desarrollo el proyecto 171 CC Agua Prieta II, a cargo de la CFE, mismo que consiste en un sistema híbrido de ciclo combinado (477 MW térmicos) y de un campo termosolar de canales parabólicos con una potencia de 14 MW térmicos.

BIOMASA

Por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable vegetal o animal. Se encuentra disponible en estado sólido, líquido o gaseoso; tiene aplicaciones principalmente como combustible para el transporte, establecimientos industriales (por ejemplo, plantas de cogeneración) y en el sector doméstico para calefacción, cocina y agua caliente.



Los rellenos sanitarios, constituyen el medio más utilizado para disponer de la basura y los desechos generados en México. Se estima que la disposición de residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios es de 28.2 millones de toneladas anuales.

En el periodo 2008–2012, el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) apoyó la construcción de 327 biodigestores y la adquisición de 137 moto-generadores a partir de biogás.

ENERGÍAS OCEÁNICAS

Se puede generar electricidad a partir de la energía proveniente del océano mediante varias formas de aprovechamiento: energía mareomotriz (un dique que almacena agua, convirtiendo su energía potencial en electricidad por medio de una turbina); undimotriz u olamotriz (energía que se obtiene del movimiento de las olas); la térmica oceánica (transforma en energía útil la diferencia de temperatura entre la cálida superficie marina y la fría agua que se encuentra en las profundidades del océano); y finalmente, la energía cinética de las corrientes marinas (tiene su similitud con la eólica).

SITUACIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN SONORA

En esta sección, se presenta un análisis de la situación actual y potencial para el aprovechamiento de las energías renovables existentes en Sonora.

Con base en el Balance Nacional de Energía 2012 [2], en México sólo el 7.4% de la oferta interna bruta de energía es cubierta por las fuentes renovables, mayoritariamente por las plantas hidroeléctricas. En el caso de Sonora, el 95.2 % de los energéticos se importan de otros estados o del extranjero. Sólo el 4.8 % se produce localmente a partir de hidroelectricidad y biomasa.

ENERGÍA HIDRÁULICA

Hasta donde se tiene conocimiento, en el Estado sólo existe un proyecto para establecer cuatro plantas generadoras de electricidad en el Río Yaqui.

El proyecto denominado Sistema Hidroeléctrico Río Yaqui se encuentra comprendido entre la Central Hidroeléctrica Plutarco Elías Calles (El Novillo) y la presa Álvaro Obregón (El Oviáchic). Consiste en un conjunto de 4 centrales hidroeléctricas denominadas: Soyopa, El Mezquite, Faustino y La Dura. Por lo tanto, se trata de un conjunto de obras del mismo tipo y sector. [3]

ENERGÍA GEOTÉRMICA

La tabla 1 muestra las posibilidades de explotación de energía geotérmica en Sonora.

Tabla 1 Posibilidades de explotación geotérmica en Sonora.

Número de manifestaciones en el estado de Sonora	Número para estimar reservas	Localidades incluidas en reservas	Energía térmica (kJ) (90% de confianza)	Reservas (kJ) (90% confianza)
77	9	8	4.84E+15 9.80E+15	1.21E+15 2.45E+15

Fuente: Proyecto Riíto: Gerencia de Proyectos Geo termoelectricos (GPG) [4]

En el "Proyecto Riíto" localizado a 46 km al sureste del campo de Cerro Prieto, en los límites de los estados de Sonora y Baja California, se ha confirmado la existencia de condiciones geológico-estructurales y térmicas adecuadas que han permitido estimar en forma muy preliminar un potencial mínimo de 100 MW y un máximo probable de 800 MW [4].

VENTILAS SUBMARINAS

Ligadas a la extensión tectónica que originó corteza oceánica en el Golfo de California, se han identificado sistemas hidrotermales submarinos con temperaturas de hasta 300°C [5]. La presencia de estas ventilas es notoria en la Cuenca de Guaymas, frente al puerto, y en las cuencas de Wagner y Consag frente a Puerto Peñasco [6].

Tanto el diseño del equipo de generación como la cuantificación y caracterización de las ventilas se han realizado en el marco del Programa IMPULSA IV, para lograr eventualmente un aprovechamiento sustentable y económico de esta fuente de ER tan poco conocida en la actualidad [7]. De resultar ciertas las estimaciones preliminares, ésta constituiría una fuente de varios cientos de MW a lo largo del Golfo de California.

ENERGÍA EÓLICA

Existen mapas que se han realizado conjuntando información de estaciones meteorológicas con técnicas de prospección remota [8].

De acuerdo a datos del U.S. Department of Energy [8], Sonora tiene potencial para explotar la energía del viento en el área de Puerto Peñasco y en la frontera noreste, colindando con Chihuahua (Figuras 1 y 2).

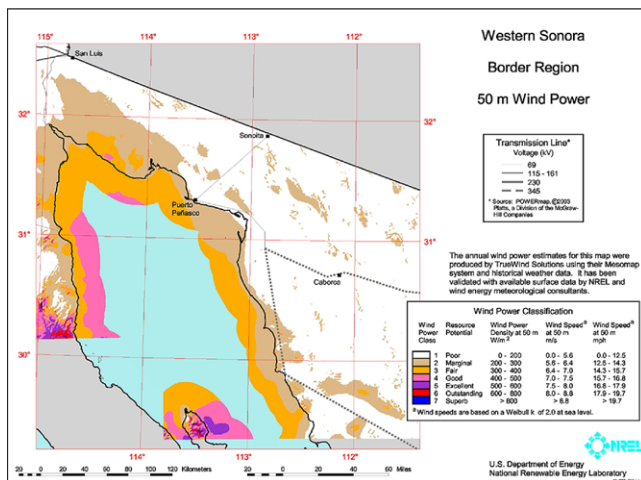


Figura 1. Región occidental de Sonora (Densidad de potencia del viento en 50 m) [8].

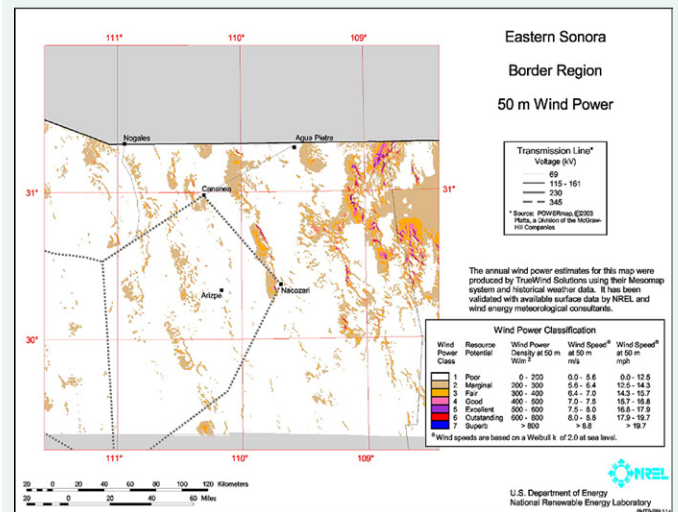


Figura 2. Región noreste de Sonora (Densidad de potencia del viento en 50 m) [8].

BIOMASA

Existen dos plantas de biomasa en Hermosillo que aprovechan los gases de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los rellenos sanitarios de "Las Minutas" y de la carretera a la mina "Nico". Si se extrapola al potencial sonorense de la biomasa de residuos sólidos se pueden generar de 10 a 12 MW.

En Sonora se han registrado 14 proyectos de granjas porcinas para aprovechar los desechos y generar electricidad. Por la cantidad de cabezas porcinas que se manejan, se estima que se pueden generar de 65 a 100 MW [9].

ENERGÍAS OCEÁNICAS

Energía mareomotriz

En México se tiene un importante potencial de energía en la región (Figura 3) del alto Golfo de California (Mar de Cortés) en donde se podría tener en un área de embalse de 2,590 km², una potencia máxima instalada de 26 GW y una producción de 23,000 GWh/año que representa aproximadamente la producción total de todas las centrales hidroeléctricas del país [10].

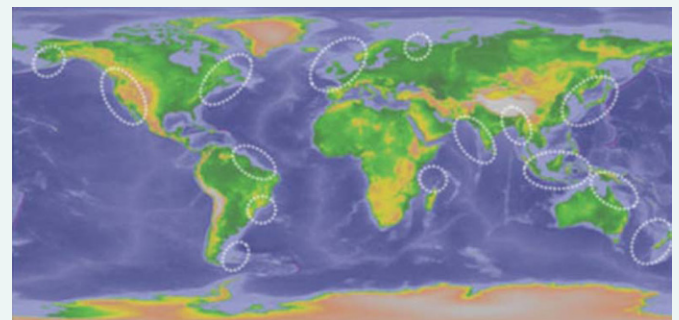


Figura 3. Potencial de energía mareomotriz en el Mundo [10].

Un ascenso del nivel del agua de 6 m en 6 horas, como el que tiene lugar en el extremo norte del Golfo de California (Figura 4), equivale a un trabajo de 50 MWh/km² y a una potencia media de 15 MW/km². Si se construyera un dique desde la Península de Baja California hasta el noroeste de Sonora, con las compuertas adecuadas para dejar que en la parte alta se embalsara agua al subir la marea y luego se cerraran al momento de bajar (obligando al embalse a vaciarse a través de una gran batería de turbinas hidráulicas), la potencia eléctrica que teóricamente se podría generar es de varios miles de MW [11].

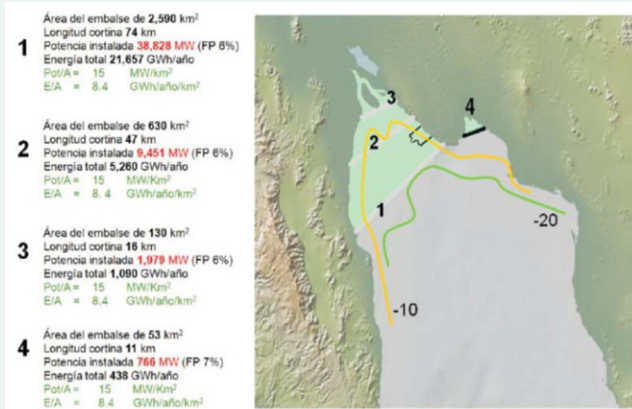


Figura 4. Esquemas teóricos para el aprovechamiento de mareas (contornos de batimetría, en m) [11].

Energía de las corrientes marítimas

Las fuertes corrientes que inducen la marea frente a las islas del Tiburón y Ángel de la Guarda, implican durante las horas punta, una potencia aprovechable de 5 KW/m². Hay estudios que indican que aprovechando las marejadas en la región conocida como Canal del Infiernillo (Figura 5) entre la Isla del Tiburón y la región de Bahía Kino, se puede obtener una capacidad de generación de energía eléctrica de entre 1,500 a 5,000 megavatios/día [12].



Figura 5. Canal del Infiernillo (Google Earth).

ENERGÍA SOLAR

Como se observa en la figura 6, Sonora se encuentra en uno de los lugares con mayor potencial de energía solar en el Mundo. La región noroeste del país presenta los más altos valores de radiación solar de México [13].

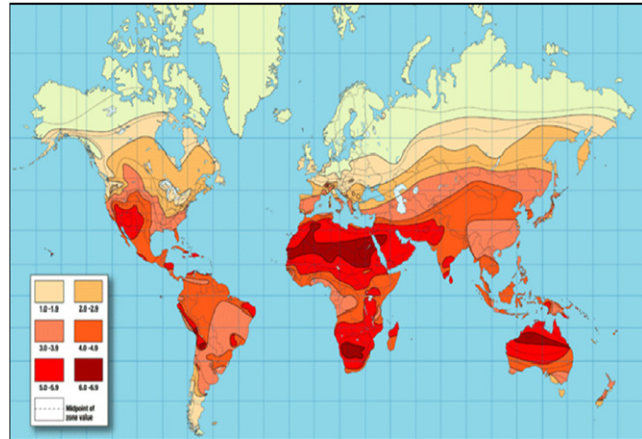


Figura 6. Potencial solar en el Mundo [13].

La escasez de nublados y las pocas lluvias que ocurren durante un corto periodo del año, hacen que la atmósfera sea clara y permita el paso de los rayos solares hacia la tierra.

Las trayectorias solares representan los recorridos del sol, proyectando las posiciones del astro rey para un día determinado del año de forma horaria. La figura 7 muestra las trayectorias solares para Hermosillo, Sonora, ciudad localizada en la latitud 29° 04' 29".

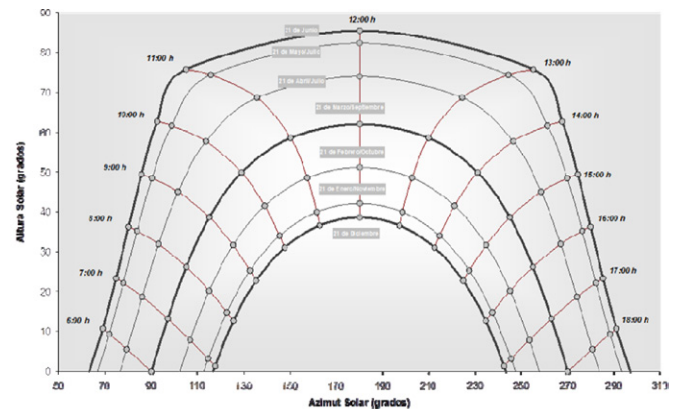


Figura 7. Trayectorias solares para la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Se observa que las horas de insolación mínimas van desde 10 horas, y las máximas desde 14 horas; esto garantiza que durante el año habría al menos 10 horas diarias de insolación en los equipos, situación que podría alterarse por lluvias o días nublados, aun cuando estadísticamente el 85% de los días son despejados en el año.

En la figura 8, se muestra las isolíneas de insolación promedio anual de energía solar diaria que se recibe por metro cuadrado en el estado de Sonora. Se puede observar que los valores de radiación van desde 5 hasta 6 KW-h/m².

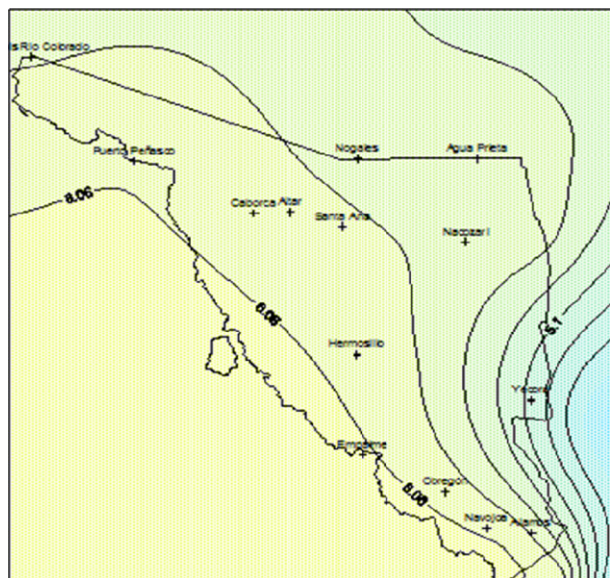


Figura 8. Isolíneas de insolación promedio anual de energía solar diaria.

Se puede afirmar que cualquier localidad dentro del Estado posee excelentes condiciones, tanto por los periodos de insolación como por los valores de radiación para las aplicaciones de aprovechamiento de energía solar.

El impresionante abaratamiento del costo de las celdas fotovoltaicas en los últimos años, al pasar de 76 U.S. dólares a finales de los 70's a 36 centavos de U.S. dólar por watt en el 2014 (Figura 9), posibilita un amplio uso de estas tecnologías para generar energía eléctrica en el Estado.

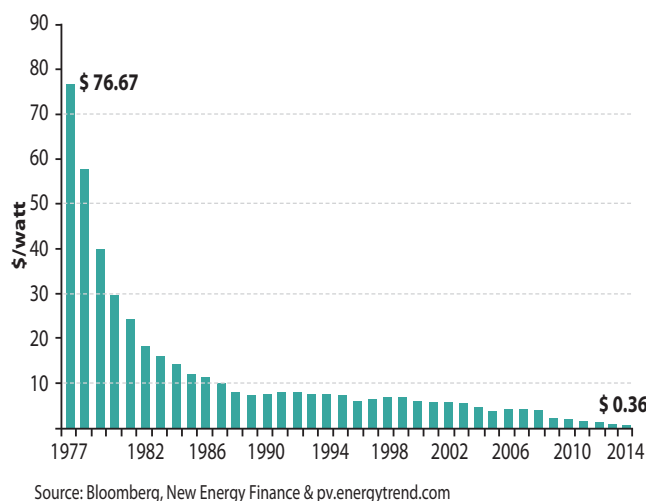


Figura 9. Evolución del precio de las fotoceldas solares [14].

En cuanto a la energía termosolar, Cabanillas et al. [15], mediante una metodología que combina mediciones del recurso solar con la opinión de expertos y la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG), concluyen que el estado de Sonora posee al menos diez localizaciones factibles para la instalación de plantas tipo torre central, dando un total de 675,334 hectáreas utilizables para tal efecto. Con ello se pudiera tener una capacidad para generar 165 GW, lo cual representa tres veces la actual capacidad de generación eléctrica en el país. El resultado es similar al que obtienen Arancibia et al. [16], quienes afirman con respecto a Sonora: "En menos del 1% de su vasto y árido territorio, recibe suficiente energía solar para satisfacer la demanda de energía de todo el país".



CONCLUSIONES

El 95.2% de los recursos energéticos que consume Sonora se importa. Afortunadamente, el Estado presenta una gran diversidad de áreas de oportunidad en aprovechamiento de ER. Se puede afirmar que es factible promover, entre otros, los siguientes desarrollos energéticos:

- La construcción de 4 plantas mini-hidráulicas en el Río Yaqui.
- La explotación de la geotermia en estación Riíto, cercana a la frontera con Baja California.
- El aprovechamiento de la energía eólica en las áreas de Puerto Peñasco y el noreste del Estado, cercano a la frontera con Chihuahua.
- El uso de generadores de electricidad a partir de la basura urbana y las granjas porcinas.
- En el caso de la energía mareomotriz, la posible construcción de diques en el Golfo de California y el aprovechamiento de las corrientes del Canal del Infiernillo, situado entre la Isla del Tiburón y el litoral del Estado.

- El abundante recurso solar y la claridad de la atmósfera durante la mayor parte del año, hacen de Sonora un lugar privilegiado para el aprovechamiento de la energía solar, tanto fotovoltaica como de torre central. Considerando ciertos criterios, se tiene una área potencial de 675,334 ha, que representan aproximadamente el 3% de la superficie estatal.

Se puede concluir que, casi todas las fuentes renovables de energía se presentan en el estado de Sonora (Tabla 2), pero se requieren mayores estudios de evaluación para analizar y determinar la viabilidad de su explotación.

Tabla 2. Potencial de energías renovables en Sonora.

Energías renovables	¿Potenciales aplicaciones en Sonora?	Reportados y estimaciones
Hidroeléctrica	Sí	94 MW
Energía geotérmica	Sí	De 100 a 800 MW
Ventilas submarinas	Sí	Por evaluar
Energía eólica	Sí	Por evaluar
Energía solar fotovoltaica	Sí	4 TWh-año
Energía termosolar	Sí	5 TWh-año
Biomasa desechos	Sí	10 a 12 MW
Biomasa granjas porcinas	Sí	65 a 100 MW
Energías oceánicas		
Energía de las mareas (mareomotriz)	Sí	26 GW
Energía de las corrientes	Sí	1,500 a 5,000 MW

Se recomienda iniciar estudios de prospectiva energética, económica y financiera para tener mayor seguridad en el desarrollo de las energías alternativas, lo que permitirá un desarrollo equilibrado y sustentable del sistema energético estatal.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Renewable Energy Policy Network for the 21 Century, 2014. *Renewables 2014 Global Status Report*. France: REN21.
- 2) SENER, Secretaría de Energía, 2012. *Balance nacional de Energía 2012*. México: SENER.
- 3) Servicios Profesionales Especializados, 2006. *Manifestación de impacto ambiental modalidad regional, del proyecto: "sistema hidroeléctrico del río Yaqui"*. México.
- 4) Canet, C., Prol-Ledesma, Eibenschutz, Juan, et al. *Recursos Geotérmicos en la Frontera Noroccidental*. México: UNAM.
- 5) Martin Barajas, J. A., 2000. *Volcanismo y extensión en la provincia extensional del Golfo de California*. Boletín de la

Sociedad Geológica Mexicana. Vol. LIII: pp. 72-83. México.

- 6) Von Damm, K.L., Edmond, J.M., Grant, B., Measures, C.I., Walden, B. and Weiss, R.F., 1985. *Chemistry of submarine hydrothermal solutions at 21.N, East Pacific Rise*. Holland: Elsevier.
- 7) Hernández, I., 2008, *Factibilidad técnica de la generación eléctrica con ventilas hidrotermales*. Instituto de Ingeniería. México: UNAM, Tesis de Licenciatura.
- 8) National Renewable Energy Laboratory, United States: US Department of Energy. 2003.
- 9) http://www.nrel.gov/wind/pdfs/mexico_w_sonora.pdf http://www.nrel.gov/wind/pdfs/mexico_e_sonora.pdf
- 10) SENER, 2012. *Prospectiva de energías renovables México 2012 - 2026*. México.
- 11) López-González J., Hiriart-Le Bert G y Silva Casarín R., 2010. *Cuantificación de energía de una planta mareomotriz*. Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. XI, No. 2. p 233-245. México.
- 12) Hiriart, G., Le Bert, 2006. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Vol. 61, *Potencial energético del Alto Golfo de California*. México.
- 13) Hiriart, G., Espíndola, S., 2007, *Aprovechamiento de las ventilas hidrotermales para generar electricidad*, en VIII Conf. Anual de la AMEE, 153-159.
- 14) Galindo, J., Valdés M., 1991. *"Atlas de radiación solar de México"*, Programa Universitario de Energía. México: UNAM.
- 15) *Sunny Uplands: Alternative energy will no longer be alternative*. The Economist (2012) consultado en agosto de 2014.
- 16) Cabanillas-López R. E., Taddei-Bringas J.L., Navarro-Trujillo R.F, 2013. *Determinación de las áreas de mayor factibilidad para la instalación de plantas termo solares de torre central. Caso Sonora, México*. Poster en Simposio Internacional de Energías Renovables, Temixco, México.
- 17) C. A. Arancibia-Bulnes, R. Peón-Anaya, D. Riveros-Rosas, J.J. Quiñones, R.E. Cabanillas, C. A. Estrada. 2014. *Beam solar irradiation assessment for Sonora, Mexico*. Science Direct Energy Procedia 49.

