

Recibido: 06.07.2020 | Aceptado: 14.12.2020

Palabras clave: Energía solar fotovoltaica, generación distribuida, impuesto económico, tarifas eléctricas, recurso solar.

Generación limpia distribuida en campus COARA-UASLP: Una alternativa solar FV

DIEGO RIVELINO ESPINOZA TREJO
espinoza_trejo_dr@uaslp.mx
COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN ALTIPLANO, UASLP

Generación distribuida (GD) es un término relativamente nuevo en nuestro país y se refiere a que es posible, mediante un contrato de interconexión con la Comisión Federal de Electricidad (CFE), generar energía en el lugar de consumo, a esto también se le llama Generación en sitio, es decir, el consumidor de energía eléctrica se convierte también en un productor de energía (*prosumer*). El concepto apareció en marzo de 2017 en un documento emitido por la Secretaría de Energía (Sener) con tres modalidades de compensación (descritas más adelante) (*Diario Oficial de la Federación*, RES/142/2017). Sin embargo, el concepto existía desde el año 2008 con el nombre Proyectos de interconexión en pequeña y mediana escala. Es importante resaltar que no es necesario hacer uso de energías limpias para tomar ventaja del esquema de GD. Cuando éste sea el caso, entonces se denomina generación limpia distribuida (GLD).

En México se consideran energías limpias y renovables a las fuentes de energía: hidroeléctrica, eólica, geotérmica, biogás y fotovoltaica (FV). Ésta última es la que ha tenido el mayor crecimiento (257 por ciento) del 2017 al cierre del primer semestre del 2018 (Secretaría de Energía, 2018). Además, para junio de 2019, la energía solar FV representaba 99.3 por ciento de los proyectos de GD en nuestro país. No obstante, la participación de energías limpias en el país aún está por debajo de las metas declaradas para el año 2021. Para lograr una mayor penetración de estas tecnologías, se requiere que este tipo de proyectos sean económicamente atractivos, aunado a los beneficios ambientales que pudieran traer consigo este tipo de tecnologías. De manera específica, existen cuatro factores principales que impactan en el retorno de inversión de un sistema FV (Smets, Klaus Jäger, Isabella, Van Swaaij y Zeman):

- 1) El recurso solar de la zona geográfica
- 2) Los costos de la tecnología
- 3) Los precios de las tarifas eléctricas de CFE y
- 4) Las políticas gubernamentales

Actualmente, los proyectos de GD permiten una potencia máxima instalada de 500 kWp (kilovatios pico). Esto es más que suficiente para satisfacer la demanda energética de un campus universitario como

la Coordinación Académica Región Altiplano (COARA) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Este campus está ubicado en el municipio de Matehuala en el estado de San Luis Potosí, y requiere una potencia FV instalada de 170 kWp para satisfacer 100 por ciento de su demanda anual de energía eléctrica. Esta afirmación toma en cuenta el consumo energético registrado en el año 2019, cuando el campus alcanzó su máxima capacidad de estudiantes, una población de 1 500 personas, una construcción de 12 500 metros cuadrados (m²) y una facturación por energía eléctrica anual de 633 302.00 pesos (antes de IVA). Para echar un vistazo a la alternativa solar FV, a continuación, se detallan los cuatro factores principales y su impacto en el Campus COARA-UASLP.

El recurso solar de la zona geográfica

La franja solar situada entre los 40° arriba del Ecuador y 35° debajo de éste, conocida como cinturón solar, es esencialmente adecuada para el aprovechamiento de la energía solar, tal como se ilustra en la figura 1. México es un país que está ubicado dentro del cinturón solar y cuenta con un excelente recurso solar a lo largo del territorio nacional. De hecho, está considerado como uno de los cinco países con mayor recurso solar de todo el mundo. De manera específica, en Matehuala, San Luis Potosí, se tiene una

captación de energía solar diaria (promedio anual) de 4.58 kilovatios hora/kilovatios pico (kWh/kWp), es decir, 4.58 kWh por 1 kWp de potencia FV instalada (incluyendo pérdidas del sistema FV), lo cual influye favorablemente en la recuperación de inversión de este tipo de proyectos.

Los costos de la tecnología

Hay dos componentes principales que conforman un sistema FV: a) los módulos FV y b) el inversor FV. Ambos representan aproximadamente 70 por ciento del costo total del sistema (sin considerar el costo por instalación). En la figura 2 se muestra el precio por Watt de los módulos FV en unidades porcentuales, el cual ha tenido una reducción aproximada de 70 por ciento en los últimos cuatro años en el mercado nacional y favorece el desarrollo de

proyectos FV. Además, en la misma figura se observan marcas y potencias (Wp) de los datos obtenidos para este gráfico.

En la figura 3 también se muestra el precio por Watt para inversores en unidades porcentuales (últimos cuatro años en el mercado nacional). Además, se observa una reducción en el precio, aunque no tan pronunciada como para el caso de los módulos FV. Para este gráfico se consideraron dos tecnologías de inversores FV: microinversores e inversores tipo string. Nuevamente se muestran las marcas y potencias de los datos obtenidos para el gráfico. Tal como se observa en la figura, el precio por Watt de los microinversores es más alto que el del inversor tipo string; no obstante, esta tecnología ofrece diversas ventajas comparadas con el tipo string tales como una vida

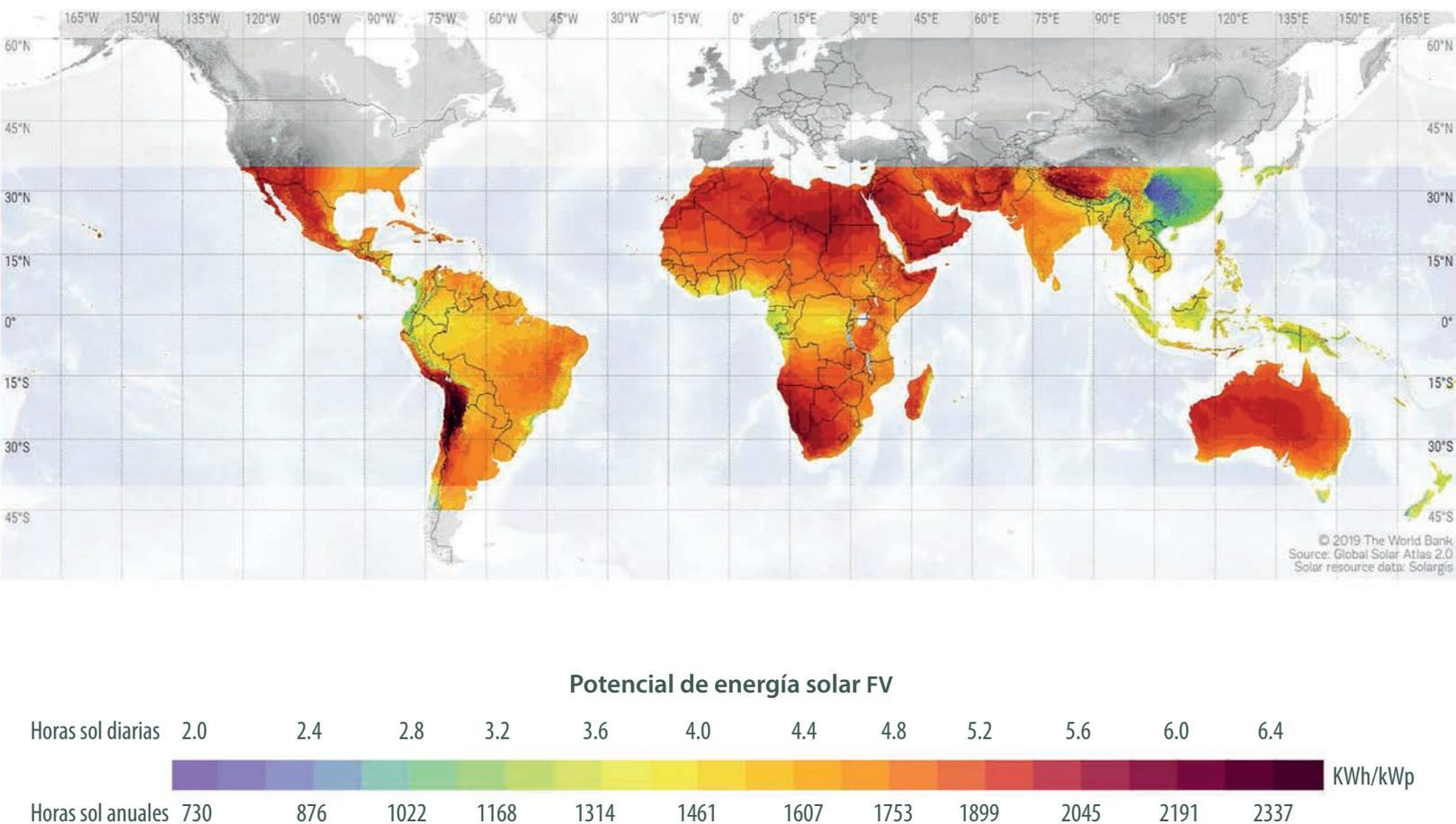


Figura 1.
Mapa de recurso solar FV a nivel mundial, cortesía del Banco Mundial
Fuente: <https://globalsolaratlas.info/map>

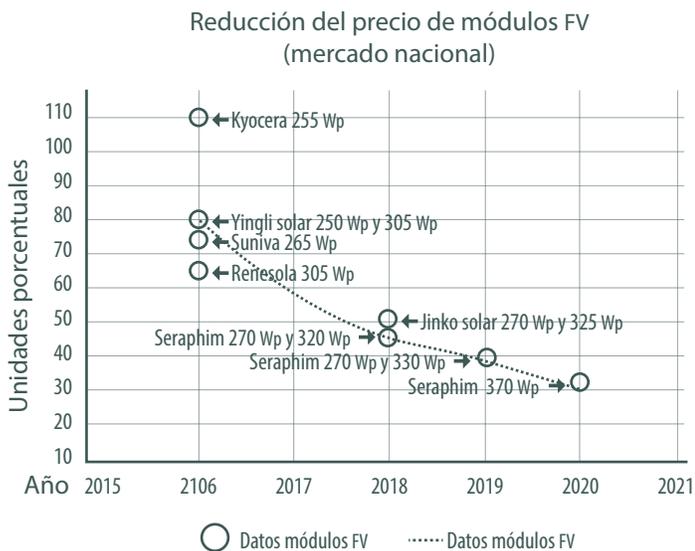


Figura 2. Precio por Watt en módulos fotovoltaicos (monocristalino) en unidades porcentuales.

útil y una eficiencia global mayores. Sin embargo, para sistemas FV superiores a 20 kWp resultará económicamente más atractivo utilizar la tecnología de inversores tipo string.

Costos de las tarifas eléctricas de CFE

En México, desde diciembre 2017 se cuenta con un nuevo régimen tarifario en el que aparecen diferentes tarifas eléctricas, tales como: a) las residenciales de alto consumo (DAC), b) las comerciales como las de pequeña demanda baja tensión (PDBT) o gran demanda en media tensión ordinaria (GDMTO), c) las industriales como la de gran demanda en media tensión horaria (GDMTH), entre otras. Cada una de las tarifas presenta cargos específicos, por lo tanto, la evaluación de impacto de la alternativa solar FV debe realizarse para cada tarifa en estudio. El Campus COARA de la UASLP tiene la tarifa GDMTH, es decir, es una tarifa eléctrica cuyo costo de energía depende del horario en que se consume la energía. En la figura 4 se ilustra el precio medio (antes de IVA) histórico del kWh consumido en Campus COARA. A inicios del año 2018, se observó que el precio medio en pesos fue de \$1.51/kWh, mientras que en marzo 2020 fue de \$2.42/kWh. También se muestra que el valor promedio del precio del kWh en los últimos dos años en este campus ha sido de \$2.28/kWh. Por último, a manera de comparación, se muestra el costo normalizado de electricidad (LCoE, por sus siglas en inglés) FV fijo a 25 años (LCoE FV = \$1.12/kWh). Así que

puede deducirse que al Campus COARA le resultaría más económico generar su propia energía mediante un proyecto de GLD. La metodología para la obtención del LCoE FV se presenta en la sección de conclusiones de este artículo.

Políticas e incentivos gubernamentales

Un factor clave para impulsar la GD en México es definir un esquema de contraprestación (compensación) adecuado. En el oficio de resolución Núm. RES/142/2017 emitido por la Comisión Reguladora de Energía y publicado en el *Diario Oficial de la Federación* en marzo de 2017, se establecen los modelos de contratos de GD y la metodología de cálculo para la compensación. Las modalidades de compensación que se establecen son las siguientes:

Medición neta (Net Metering). Al final del periodo de facturación se genera un balance de energía, es decir, energía generada-energía consumida. Si la diferencia es negativa, ésta se factura con los cargos específicos de la tarifa eléctrica. Si resulta positiva, entonces, se genera un banco de energía que puede ser utilizado en el siguiente periodo de facturación. Es importante señalar que del total de los contratos de interconexión en GD hasta junio 2019, 99.8 por ciento corresponde a esta modalidad.

Facturación neta (Net Billing). En este caso, el pago de la factura de CFE por el consumo realizado en el periodo de facturación se mantiene. Punto aparte, se envía una factura a CFE por concepto de venta de energía inyectada a la red eléctrica. El precio de compra de ésta depende del precio local marginal (PML), el cual es variable y está por debajo del LCoE FV, lo cual resulta en una modalidad poco utilizada.

Venta total. La diferencia entre facturación neta y venta total es que esta última no requiere que exista un número de servicio ante CFE en donde se consuma energía. En este caso sólo hay generación y el precio de venta está relacionado con el PML.

Facturación neta y venta total son modalidades que podrían impulsar el despliegue de la GD si el precio de compra garantizada fuese fijo y mayor que el precio que un usuario paga por concepto de electricidad

a CFE. Esta situación desfavorable es entendible por razones asociadas con la naturaleza intermitente de la alternativa solar, situación que deberá ser resuelta a través de la gestión de energía en nuestro país, acompañada de políticas gubernamentales que permitan el almacenamiento de energía en GD.

Incentivos

En los últimos años se han implementado esquemas de incentivos para el apoyo de la GD, como es el caso del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), por mencionar sólo uno. Sin embargo, en artículo 34, XIII, se resalta el siguiente estímulo fiscal, basado en el artículo 34, XIII de la Ley del Impuesto sobre la Renta:

Estímulos fiscales. Desde el 2014, México cuenta con el incentivo fiscal que permite reducir el 100 por ciento de la inversión en equipo para generación de energía con base en energías renovables, lo cual, además de reducir la factura de energía eléctrica y apoyar al medio ambiente, permite la deducción de impuestos en un 100 por ciento del valor de la inversión.

Comentarios finales y conclusión

La Secretaría de Energía publicó en febrero de 2020 la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, donde se destaca que la participación de las energías limpias en México deberá ser de 30 por ciento para el 2021, y de 35 por ciento para el 2034. En dicha estrategia se enuncian diferentes acciones respecto al desarrollo de la energía solar FV en México y se resaltan las siguientes: *a)* Integrar elementos a los reglamentos de construcción para la incorporación de la tecnología FV, *b)* Introducir gradualmente contraprestaciones reguladas para la generación de excedentes, reconociendo la aportación de energía y potencia de las plantas solares, *c)* establecer programas de financiamiento para el desarrollo de microrredes para el aprovechamiento de la energía solar FV y, *d)* crear esquemas de financiamiento para la adquisición de sistemas FV. Con respecto a la GD se resaltan las siguientes acciones: *a)* establecer tarifas de generación distribuida en el sector doméstico, comercial e industrial que sean justas, basándose en pruebas estándar que identifiquen los costos y beneficios que aplican a la generación distribuida, y *b)* fortalecer los

Reducción del precio de inversores FV (mercado nacional)

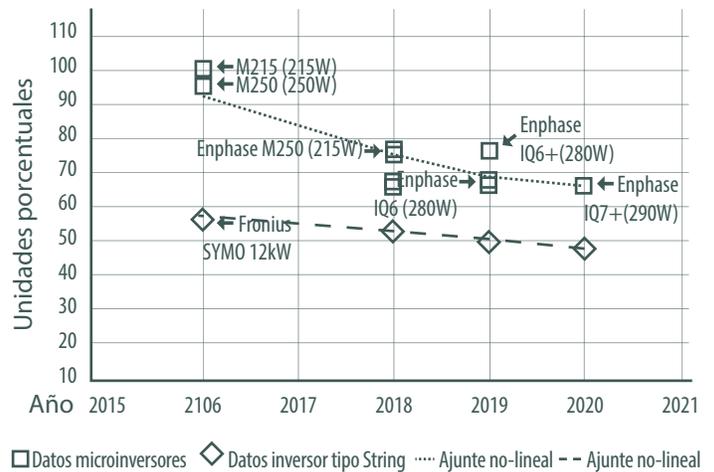


Figura 3. Precio por Watt para inversores en unidades porcentuales

Reducción del precio de inversores FV (mercado nacional)

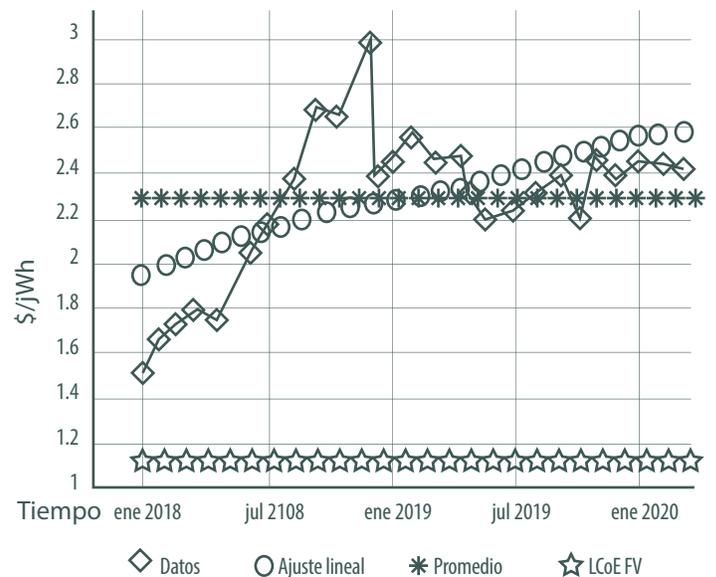


Figura 4. Precio medio del kWh en Campus COARA-UASLP en los últimos dos años.

esquemas de derechos y precios de interconexión de productores de energía eléctrica renovable proveniente de generación distribuida (Secretaría de Energía, 2020). Esto muestra un escenario positivo para el futuro de la GLD referente a políticas gubernamentales.

Finalmente, y a manera de conclusión, se define la metodología empleada en este artículo para el cálculo del LCoE FV. Con éste se compara el costo que le representaría al Campus COARA generar su propia energía (LCoE FV) y el precio del kWh que el Campus paga en la tarifa eléctrica GDMTH a CFE. Este se define, en una manera simple, de acuerdo con la siguiente fórmula (Smets, Jäger, Isabella, Van Swaaij y Zeman, 2016):

$$LCoE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

n es un entero que representa la vida útil del sistema (en años).

I_t representa los gastos de inversión en el año t .

M_t son los gastos de mantenimiento y operación en el año t .

F_t son los gastos por combustible en el año t .

E_t es la producción de energía eléctrica en el año t .

r es la tasa de descuento, factor utilizado para descontar los costos futuros y trasladarlos en el valor presente.

Para el caso de la energía solar FV, los gastos por combustibles F_t son nulos. Entonces, considerando el esquema de compensación en la modalidad Net Metering, un costo por Watt instalado de USD\$0.88/Watt, un tipo de cambio de \$24.00, una tasa de descuento $r=4\%$, gastos de operación y mantenimiento preventivo de \$7000 mensuales, gastos de mantenimiento correctivo (al paso de 11 años de operación) de \$363 801.00, una inversión inicial de \$3 590 400.00, una producción de energía anual de 284 033 kWh, y una vida útil de 25 años, se obtiene que el LCoE FV, fijo a 25 años, sería de \$1.12/kWh (antes de IVA) como se ilustra en la figura 4. En consecuencia, el LCoE FV es menor que el precio

del kWh que el Campus COARA paga por concepto de energía eléctrica, el cual, además tiende a subir debido a la escasez de los recursos fósiles, mejorando aún más las prestaciones de la alternativa solar FV.



**DIEGO
RIVELINO
ESPINOZA
TREJO**

Es doctor en Ingeniería Eléctrica por el Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UASLP. Es profesor investigador de la Coordinación Académica Región Altiplano de la UASLP y trabaja en el proyecto "Síntesis de algoritmos de control no-lineal con tolerancia a fallas para tecnologías emergentes en sistemas de generación de energía FV con SPMP-distribuido considerando sombreados parciales. Investigación científica básica, Conacyt".



Referencias bibliográficas:

- Smets, A., Jäger, K., Isabella, O., Van Swaaij, R. y Zeman, M. (2016). *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion Technologies and Systems*. Cambridge: UIT Cambridge.
- Diario Oficial de la Federación (7 de marzo, 2017). Resolución Núm. RES/142/2017.
- Secretaría de Energía (2018). Reporte de Avance de Energías Limpias 1er Semestre.
- Secretaría de Energía, (7 de febrero, 2020) Acuerdo por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, en términos de la Ley de Transición Energética. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020