

Configuración de un modelo de cadena de suministro para la energía solar fotovoltaica. Caso México

Configuration of a supply chain model for photovoltaic solar energy. Case of Mexico.

J. R. E. Escorcía-Hernández ^{a,*}, O. Montaña-Arango ^a, I. E. Castañeda-Robles ^a, J. R. Corona-Armenta ^a,
J. Medina-Marín ^a

^a Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

El objetivo de este trabajo es identificar el estado actual de la cadena de suministro de la generación de electricidad a partir de la energía solar fotovoltaica y los factores que permitan configurar un modelo factible para México, para lo cual se llevó a cabo una investigación de tipo exploratoria, donde se desarrolló una búsqueda documental, consulta a expertos y estudios de campo, encontrándose que la cadena de suministro está constituida con eslabones desarticulados. Por lo que se desarrolló un modelo que toma en consideración las variables sociales, económicas y de medioambiente y políticas, que son vitales para una mejor gestión.

Palabras Clave: Cadena de suministro, gestión, modelo, social, económica, medioambiente, eslabones

Abstract

The objective of this work is to identify the supply chain for the generation of electrical energy from photovoltaic solar energy and the factors that allow configuring a feasible model for Mexico, for which an exploratory research was carried out, where a documentary search, expert consultation and field studies were developed, finding that the supply chain is made up of disjointed links. Therefore, a model was developed that takes into account social, economic, environmental and political variables, which are vital for better management.

Keywords: Supply Chain, Management, Model, Social, Economic, Environment, Disjointed Links

1. Introducción

El nivel de consumo de energía crece de acuerdo con el desarrollo de la sociedad, la mayoría de esta energía se obtiene del carbón, petróleo y gas; la cual no se renueva y se va agotando año tras año, así; lo más racional es incorporar y aprovechar fuentes de energía alterna que estén a nuestro alcance y en el medio, que pueden provenir del viento, sol, residuos orgánicos, entre otros, las cuales son renovables y tienen menos impacto en el ambiente (Cepal, 2015). También existe la generación de energía nuclear, donde se necesitan centrales muy costosas y extremas medidas de seguridad,

generando residuos de difícil eliminación y con un largo periodo de radiactividad latente (IEA, 2021).

De acuerdo a datos publicados por la agencia internacional de energía (IEA, 2021) en el Key World Energy Statistics 2021, el consumo de energía a nivel mundial en el año 2019, fue de 14,471.28 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), el cual con respecto al consumo registrado en 1973 se duplicó; teniendo la mayor concentración en los países miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) incluyendo a China, con una participación de cerca del 59% del consumo total mundial,

*Autor para la correspondencia: escorcia@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: escorcia@uaeh.edu.mx (José Rogelio Efraín Escorcía Hernández), omontano@uaeh.edu.mx (Oscar Montaña-Arango), ivan_castaneda@uaeh.edu.mx (Iván Erick Castañeda-Robles), jrcorona@uaeh.edu.mx (José Ramón Corona-Armenta), jmedina@uaeh.edu.mx (Joselito Medina-Marín).

mientras que América Latina y el Caribe con el 4.6% (OLADE 2021).

En los últimos años, la matriz de consumo energético global ha tenido incrementos significativos, lo que ha originado que su composición estructural este cambiando, atribuido también a la diversificación de fuentes de energía más limpias, destacándose un mayor uso del gas natural, que ha denominado como el energético de la transición (figura 1) (OLADE 2021).

En cuanto a consumos de energía por fuente, se tiene que, en 1973, del total se tuvo que el 76% correspondió al petróleo y sus derivados, gas natural y carbón mineral, que comparado con el año 2019, se tuvo una reducción porcentual al 67%, a pesar de tener un incremento de 10 puntos porcentuales en el consumo de electricidad (figura 1).

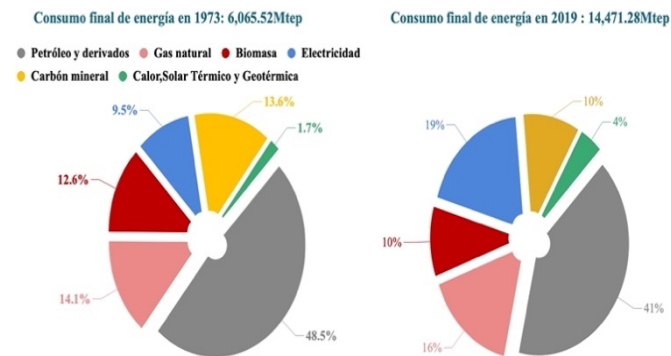


Figura 1. Consumo final mundial de energía por fuente de energía [Mtep; %] 1973 – 2019.

Fuente: Elaboración propia con base a datos publicados en el IEA (2021).

En el caso de América Latina y el Caribe, se tuvo que en el año 2019 el consumo final de energía fue de 618 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), lo que representa aproximadamente 4 veces más de lo registrado en 1973 (figura 2). La predominación del consumo final en la región está dada por petróleo y derivados, los cuales representan para el año 2019 una participación superior al 50%, detectando un incremento en el uso gas natural y fuentes renovables para generar electricidad (OLADE, 2021).

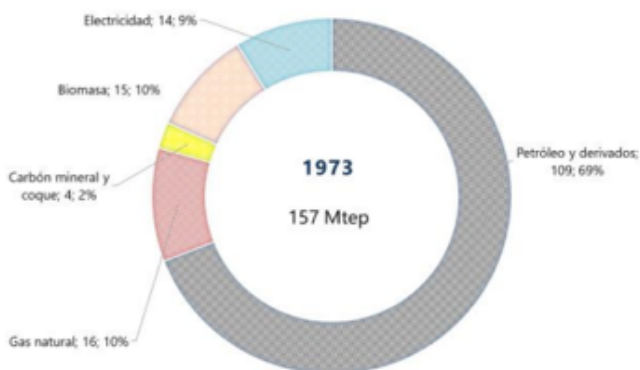


Figura 2. Consumo final de energía en América Latina y el Caribe por fuente de energía (Mtep; %) 1973-2019.

Fuente: Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (OLADE, 2021).

De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER), en el año 2019 el consumo de energía en México superó 44.4% a la producción de energía con respecto al 2018, la producción tuvo una caída del 21.2% (figura 3) (SENER 2019).

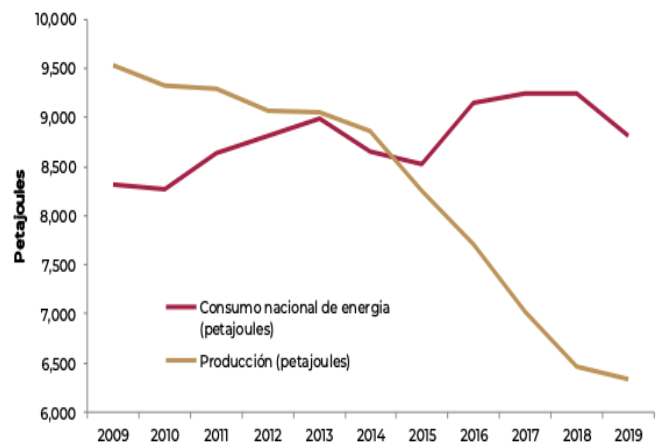


Figura 3. Evolución de la producción y el consumo nacional de energía.

Fuente: Sistema de Información Energética (SENER, 2019)

El año 2019 es el quinto año consecutivo en que México muestra dependencia de las importaciones de energía para satisfacer su demanda energética, en este año la producción de energía derivada del petróleo crudo representó el 59.83% del total. Los contratos y las asignaciones de PEMEX sumaron el 97.7% de la producción nacional de crudo, mientras que la iniciativa privada tuvo una participación del 2.3%. Del total de la producción nacional, el gas natural y los condensados figuraron con el 24.2%, sin embargo, de estos recursos los niveles de explotación aumentaron 12.7% y 19.2% respectivamente (Tabla 1) (SENER, 2019).

Tabla 1. Producción de energía (Petajoules)

Fuente: elaboración propia con base a datos del Sistema de Información Energética. (SENER, 2019).

	2018	2019	Variación porcentual (%) 2019/2018	Estructura porcentual (%) 2019
Total	6,484.84	6,332.81	-2.4	100
Carbón	279.58	230.46	-21.31	3.64
Hidrocarburos	5,374.18	5,315.16	-1.11	83.93
Petróleo crudo	4,045.95	3,788.64	-6.79	59.83
Condensados	48.9	60.49	19.15	0.96
Gas natural	1,279.33	1,466.04	12.74	23.15
Nucleoenergía	156	124.82	-24.99	1.97
Renovables	1,675.08	662.37	-1.92	10.46
Hidroenergía	116.95	84.99	-37.6	1.34
Geoenergía	113.18	112.88	-0.27	1.78
Solar	23.98	40.32	40.52	0.64
Energía eólica	47.12	60.22	21.75	0.95
Biogás	2.84	2.8	-1.61	0.04
Biomasa	371.01	361.17	-2.73	5.7
Bagazo de caña	121.93	113.25	-7.67	1.79
Leña	249.08	247.92	-0.47	3.91

Las energías no renovables, como el carbón y el petróleo son materias primas que necesitaron miles de años para formarse, existen en cantidades limitadas y se consumen año tras año a un régimen mayor que el de su producción, por lo cual se estima que su agotamiento está acelerándose de manera exponencial.

Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias, podemos encontrar las siguientes:

Energía eólica

En el año 2019 la energía eólica se expandió un 19% en el mercado mundial, con casi 60 GW de nueva capacidad añadida a las redes eléctricas del mundo (54 GW en tierra y 6 GW en alta mar). La energía eólica marina juega un papel importante en el mercado global, debido a que representa una décima parte de las incorporaciones en 2019. Este rápido crecimiento se debió en gran medida a los aumentos repentinos en China y Estados Unidos, por los cambios en las políticas y que en Europa reflejo un aumento significativo, a pesar de la continua disminución en el mercado alemán. Además, la energía eólica proporciona una parte fundamental de la electricidad en un número creciente de países (Reve, 2020).

Energía hidráulica o hidroeléctrica

La energía hidráulica es una fuente renovable que ha tenido una destacable importancia en el abastecimiento energético mundial. Su aportación creció bastante a lo largo de las décadas de los años 60, 70 y 80, llegando a alcanzar el 6% del consumo total. La energía hidráulica es la segunda energía limpia más económica, detrás de la energía eólica. Según los últimos datos, cada kilovatio-hora generado por energía hidráulica tiene un costo medio de unos cuatro centavos de dólar. En el año 2020 generó la mayor potencia eléctrica dentro de las energías "verdes", superando a los aerogeneradores y los paneles solares en alrededor de 400 Gigavatios, en este año China fue el máximo demandante de energía hidroeléctrica del mundo, consumió alrededor de 11,7

EJ (1018 J), dicha cantidad fue muy superior al resto de las grandes potencias en este rubro, se estimó algo más del 30% del consumo mundial de este tipo de energía limpia durante dicho año (Orús, 2021). En los países más desarrollados la generación de energía eléctrica a partir de los recursos hidráulicos ha alcanzado un gran nivel. Caso contrario son los países en vías de desarrollo, su utilización es insuficiente, debido a los altos requerimientos de capital (Orús, 2021).

Energía por biomasa y biocombustibles

De acuerdo a la Agencia Internacional de la Energía (IEA), se estima que el 10% de la energía generada en todo el mundo procede de recursos asociados a la biomasa, entre los que destacan los biocombustibles y el biogás. Por otra parte, los países en desarrollo, principalmente ubicados en Asia, África y Latinoamérica, representan un tercio del consumo energético procedente de estas fuentes alternativas. La biomasa es una fuente de generación de energía, que permite un uso más sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente (IEA, 2021).

Energía geotérmica

De acuerdo al banco mundial, se reporta que, a finales del año 2019, las plantas de energía geotérmica estaban operando en 29 países, con una capacidad de generación de energía instalada total de 15,400 MW. Los principales países que aportan en la capacidad instalada son Estados Unidos, Indonesia, Filipinas, Turquía, Nueva Zelanda y México. Así con el desarrollo continuo, otros 50 países podrían ver la adición de generación de energía geotérmica a su combinación energética. A nivel mundial, la capacidad de generación de energía geotérmica podría alcanzar los 28,000 MW en los próximos 15-20 años. Además, durante los próximos 3 años, la Asociación Internacional de Geotermia (IGA) espera un desarrollo de 4,500 MW adicionales en la capacidad de generación de energía. Los mercados clave de crecimiento siguen siendo Asia, África, Europa y América del Norte. (Jorquera, 2020).

Energía solar

Dentro de las energías renovables, se tiene que la energía solar fotovoltaica es una de las alternativas más limpias para el medio ambiente, se pueden obtener de la naturaleza de una forma más simple que las fuentes convencionales, utiliza recursos limpios con un impacto ambiental mucho menor en comparación con las energías tradicionales o no renovables; por lo que se está tratando de buscar que en un futuro próximo, la energía solar fotovoltaica y otras más energías renovables representen un papel preponderante en la sustitución de los combustibles fósiles (Acciona, 2015).

En la última década, el mundo ha experimentado un importante cambio energético. Después del reconocimiento de los peligros del uso de carbón fósil, los gobiernos han recurrido a las fuentes de energía renovables para construir un futuro sostenible. Entre las fuentes de energía limpia, la energía solar fotovoltaica representa una opción prometedora para reducir la huella de carbono.

México es un país privilegiado en recursos naturales, que permiten generar energía renovable, en particular energía solar (fotovoltaica), que constituye no sólo una alternativa de

solución al problema energético nacional, sino también podría coadyuvar a resolver otros problemas no menos graves como son: el deterioro ambiental, el desempleo y la fuga de divisas, por mencionar algunos. Sin embargo, para aprovecharlas adecuadamente en la modernización del país y en el mejoramiento de vida de sus habitantes, existe la apremiante necesidad de multiplicar los esfuerzos y recursos dedicados a su investigación y desarrollo tecnológico, así como su industrialización y comercialización, a fin de poder satisfacer las necesidades energéticas tanto de las comunidades rurales y urbanas como de la pequeña, mediana y gran industria. Asimismo, deben concebirse nuevos esquemas de participación social y privada en la generación de energía, tendientes al desarrollo de pequeños sistemas autónomos y descentralizados basados en la energía solar fotovoltaica, a fin de reemplazar el sistema de generación actual, por lo que, se deberá concientizar a la sociedad para cambiar drásticamente sus patrones de consumo energético. (Rincón, 1999).

Para que lo anterior tenga éxito, el aspecto más importante es mejorar la gestión de la cadena de suministro, la cual se debe ejecutar de la manera más ágil, para garantizar la satisfacción de cada uno de los eslabones y cumplir con la satisfacción de los clientes. La importancia de la cadena radica en que englobe aquellas actividades asociadas con el movimiento de bienes, lo cual a nivel general incluye la selección de materia prima, compra, programación de producción, procesamiento de órdenes, control de inventarios, transportación, almacenamiento, distribución y servicio al cliente, que para el caso de la energía fotovoltaica incluye investigación y desarrollo, fabricación, suministro, desarrollo de plantas fotovoltaicas y distribución hasta el usuario final (Ballou, 2004). En México, la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica no se tiene como tal, se presenta como eslabones aislados y con ausencia de gestión en diferentes eslabones. (López, 2012).

Por lo anterior, el propósito de esta investigación es identificar los procesos y vínculos necesarios para proponer un modelo de cadena de suministro que configuren la producción de energía solar fotovoltaica en México que involucre variables sociales, económicas y de medioambiente, que en algún momento permita optimizar la funcionalidad de las operaciones de acuerdo con las condiciones nacionales y globales.

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

2.1.1 Energía solar fotovoltaica en el mundo

De acuerdo con información de la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, 2021), a junio del año 2021, la India y China eran los líderes en instalaciones solares con 30% y 28% de la capacidad mundial, donde también se puntualiza que los países de todos los continentes agregaron energía solar a su matriz energética (Figura 4). Bhadiala Solar Park, con una potencia instalada de 2.245 megavatios, es la principal planta de energía solar fotovoltaica del mundo, a la que le siguió la China Huanghe Hydropower Hainan Solar Park. Por otra parte, México está en el lugar 12, con Villanueva Solar Park con 828 MW.

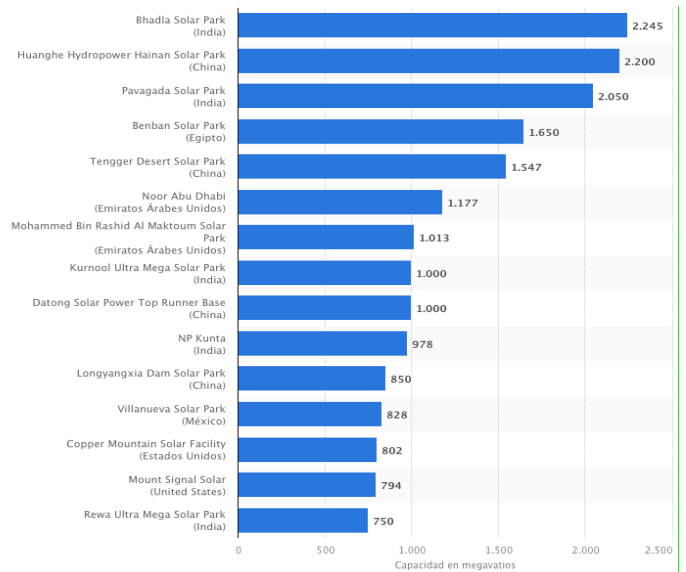


Figura 4. Ranking mundial de las principales plantas de energía solar fotovoltaica a fecha de junio de 2021, por capacidad.

Fuente: estadísticas de capacidad renovable (IRENA, 2021).

En la actualidad, la dependencia de energéticos a nivel mundial está conformado de la siguiente forma: petróleo está alrededor del 46%; 27% del carbón; y 17% del gas, lo que hace que la dependencia total de los combustibles fósiles llegue al 80%. Por lo que la economía mundial sigue basándose principalmente con recursos energéticos no renovables. Justificando la necesidad del cambio de estrategia a favor de las energías renovables a partir de la creciente degradación ambiental de la biosfera, en especial, la amenaza evidente del cambio climático y por el manejo de desechos radioactivos de las plantas nucleares (Foster y Elzinga, 2019).

2.1.2 México en la agenda energética

En México de acuerdo a la Agenda 2030, plantea en el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 7, (ONU, 2015) que es garantizar energía factible y a su vez que no contamine, lo que incluye mejorar la eficiencia energética y aumentar considerablemente la proporción de energías renovables en el conjunto de fuentes energéticas, lo cual se respaldaba con los proyectos surgidos a partir de la reforma energética del 2013, esto se vio reflejado en los mercados internacionales, ya que al ser un territorio fuertemente atractivo en el desarrollo de proyectos de generación de energías renovables, en particular con energía solar fotovoltaica, comparado con los proyectos que usaban combustibles fósiles. De acuerdo con BloombergNEF (2018), México y otros países tales como Brasil, India, Chile, Sudáfrica, Egipto y Marruecos les ofrecían a los inversionistas internacionales un marco claro y transparente de actuación, por medio de un programa de subastas, lo que permite a los gobiernos atraer grandes cantidades de inversión extranjera a precio competitivo para proyectos de energías limpias; en este caso México tuvo una participación muy importante, que fue del 64% (figura 5).

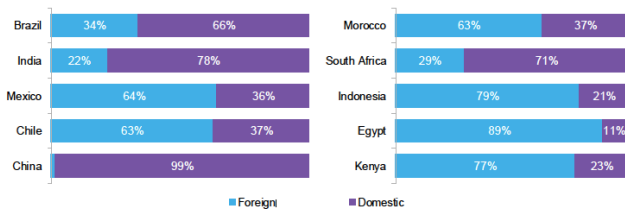


Figura 5. Participación de la financiación de activos extranjeros divulgada en determinados mercados emergentes, en los últimos 10 años. Fuente: BloombergNEF (2019).

Por otro lado, en la figura 6 se muestra el inventario de proyectos potenciales para la generación de electricidad por medio de energías limpias, ilustra una gran área de oportunidad para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica en todo el país, desde proyectos de generación distribuida hasta megaproyectos, en particular en los estados de Coahuila, Sonora, Chihuahua, Zacatecas, Tamaulipas y Yucatán, que son los que reportan la mayor capacidad instalada en proyectos por medio de paneles solares, en etapas de construcción y en obra (SENER, 2019).



Figura 6. Capacidad instalada de energía solar fotovoltaica por entidad federativa

Fuente: elaboración propia con base en SENER (2019)

2.1.3 Investigación

Se cuenta con un buen número de investigadores que laboran en instituciones como la UNAM, la UAM, el CINVESTAV, UANL, ITESM, entre otras, que son miembros de la Asociación Nacional de Energía Solar, que promueven el empleo de las fuentes renovables de energía. Asimismo, existen cerca de 40 industrias que producen pequeños sistemas para su aprovechamiento, sin embargo, hace falta aún la voluntad política necesaria para que estas fuentes tomen el papel preponderante que deberán tener en una auténtica modernización del país.

Estas actividades han evolucionado con base en criterios casi puramente académicos, aunque está claro para los investigadores de esta área, que la energía solar es imprescindible para lograr un desarrollo sostenible y que las empresas que industrialicen los sistemas para el aprovechamiento de la energía tienen un futuro sumamente prometedor, pero, no se ha podido concretar un plan global para su aprovechamiento, aunque el gobierno mexicano, en sus distintos niveles, ha jugado un papel importante en la promoción y el financiamiento de algunos proyectos

relacionados con la energía solar fotovoltaica, encontrándose que los sistemas que se han instalado dieron respuesta a problemáticas específicas y no surgieron explícitamente de una política gubernamental concertada o planeada. Los ejecutores de los proyectos de electrificación en México, son la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Secretaría de Energía, a través de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE), que tienen entre sus mandatos el fomento de las energías renovables en el territorio nacional (Enlight. Mexico, 2022).

De acuerdo al Anuario Educación Superior – Técnico Superior, Licenciatura y Posgrado V.1.2., 2019-2020, publicado por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), se pudo conocer que en el país existe una oferta educativa enfocada en la elaboración de los proyectos que se basan en la energía solar fotovoltaica y otras energías renovables, donde la oferta más demandante en las universidades tanto públicas como privadas en nuestro país son:

1. Ingeniería en energías renovables, disponible en 72 universidades.
2. Técnico superior universitario en energía renovable, área calidad y ahorro de energía; disponible en 50 universidades.
3. Ingeniería en energías, disponible en 26 universidades; entre otras.

Al realizar el análisis de las entidades federativas donde hay una oferta educativa de programas de estudio a nivel superior que involucra áreas de generación de energía renovable, se encontró lo siguiente: Coahuila (12), Hidalgo (12), Veracruz (10), Baja California (9), Puebla (9) y Tamaulipas (9); donde resalta el predominio de ingeniería y estudios de nivel de técnico superior universitario, contando también con 8 programas de maestría y 6 de doctorado, los cuales se deben considerar como un soporte profesional en el sector energético y como parte de la configuración de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica (figuras 7, 8, 9, 10, 11 y 12).

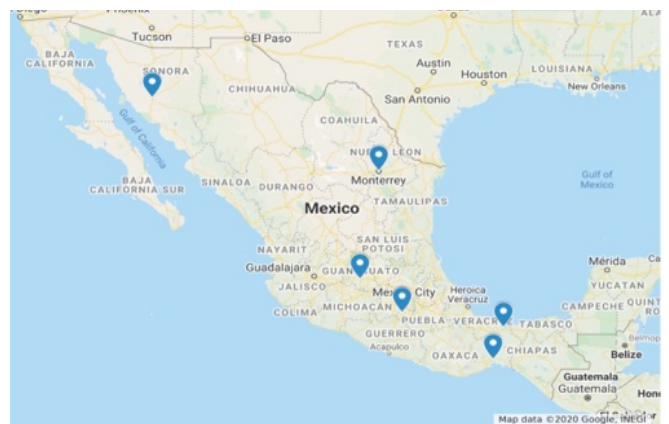


Figura 7. Oferta educativa de cursos y diplomados en el país relacionadas con energías solar fotovoltaica

Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020)



Figura 8. Oferta educativa a nivel técnico superior en el país relacionadas con energías solar fotovoltaica
Fuente: elaboración propia con base en ANUIES (2020)



Figura 11. Oferta educativa a nivel Doctorado en el país con energías solar fotovoltaica
Fuente: elaboración propia con base en ANUIES (2020)



Figura 9. Oferta educativa a nivel licenciatura en el país con energías solar fotovoltaica
Fuente: Elaboración propia con base en ANUIES (2020).

También se buscó qué estados del país concentran la mayor oferta de proyectos potenciales y que conjuntan la mayoría de la oferta educativa a nivel superior con relación a la energía solar fotovoltaica, lo cual se puede ver en la figura 12.



Figura 12. Centrales Solares Fotovoltaicas en el país.
Fuente: Elaboración propia con base en ASOLMEX (2020)

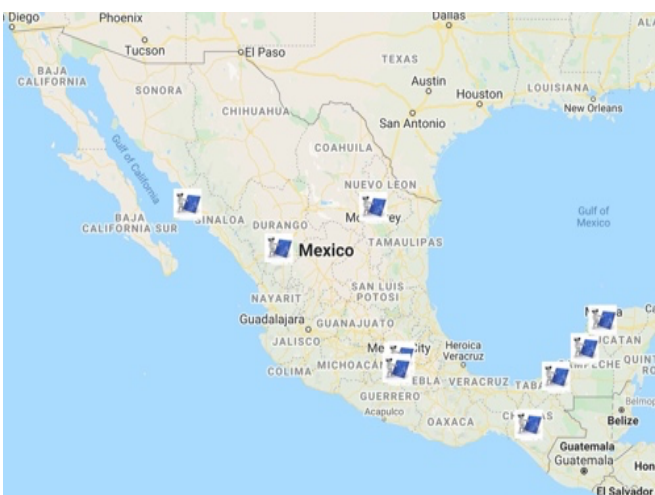


Figura 10. Oferta educativa a nivel Maestría en el país con energías solar fotovoltaica. Fuente: elaboración propia con base en ANUIES (2020)

De acuerdo a Salinas (2020), Sinaloa, Chihuahua y Sonora son los estados que contemplan tanta oferta educativa a nivel superior con la asequible demanda de recursos humanos provenientes de los proyectos energéticos en energía solar fotovoltaica, de donde es importante tomar en cuenta las mejores prácticas. Por consiguiente, las generaciones de ingenieros e ingenieras egresados de carreras afines a la energía solar fotovoltaica forman parte de un segmento muy valioso para iniciar con la sensibilización requerida, recepción de buenas prácticas, experiencias en la evaluación del impacto social y de los procesos de consulta referente con los proyectos energéticos. Con esto, la formación de profesionistas con estas características les daría la oportunidad evaluar y promover proyectos energéticos desde diferentes puntos de vista, como:

- Aportación al desarrollo económico de la región, zona, municipio, estado y del país
- Aportación en el impacto ambiental y social en su entorno.

- Aportación en el cumplimiento de los compromisos internacionales, en las cuestiones de reducción en emisiones de carbono.
- El valor de la inserción de las comunidades locales y respeto a sus decisiones.
- El valor de tener garantías con respecto a los derechos humanos y de la equidad de género en los proyectos.
- Con el último punto, permitiría tener un aumento relevante en la búsqueda de la participación de las comunidades como parte de la planeación de los proyectos energéticos. (Salinas, 2020).

2.2 Cadena de suministro

La cadena de suministro conocida como cadena de abasto (Supply Chain), está constituida por todas aquellas partes involucradas de forma directa o indirecta, como parte de una solicitud de un cliente, incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a transportistas, almacenistas, vendedores al detalle e incluso a los mismos clientes (Chopra y Meindl, 2013). En términos generales las cadenas de suministro buscan indicadores que les permitan soportar su avance y el impacto que tengan los cambios en sus procesos, en la búsqueda de una mejor gestión y desarrollo sostenible (Geissdoerfer, Morioka, de Carvalho y Evans, 2018). Además, la cadena se caracteriza por el flujo de información constante que permite la conexión entre todos los actores que la componen (Qorri, Mujkić y Kraslawski, 2018).

Las cadenas de suministro globales se construyen con base en una combinación de compradores, vendedores, empresas de transporte y diferentes intermediarios, en este proceso están incluidos los agentes aduaneros, agencias gubernamentales asociadas a la entrada y salida de bienes de una jurisdicción dada, por mencionar algunos (Amara, 2019). En la actualidad, México cuenta con empresas comercializadoras de paneles fotovoltaicos, que se adaptan a marcos regulatorios y a distintas necesidades de suministro de energía, pero, hoy en día no se tiene una estructura adecuada de la cadena de suministro para la energía solar fotovoltaica y de acuerdo a la investigación desarrollada, en México no hay una cadena de suministro articulada, sólo se perciben eslabones aislados (López, 2012).

2.3 Método

Dado lo expuesto, para configurar la cadena de suministro de la energía fotovoltaica en México, se realizó una investigación exploratoria aplicada en el desarrollo tecnológico, desarrollo de proyectos, desarrollo industrial, mercados de la tecnología de energía solar fotovoltaica, así como la investigación de las cadenas de suministro, con la finalidad de analizar las variables que permiten optimizar la funcionalidad de las operaciones y plantear una configuración.

4. Resultados

Dentro de los resultados de esta investigación, se identificaron los eslabones para desarrollar una propuesta de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica caso México. A continuación, se muestra cada uno de los eslabones.

El primer eslabón lo denominamos “suministros”, el cual se muestra en la figura 13, contempla todas las materias primas desde las celdas fotovoltaicas, módulos de paneles solares, además de todos los componentes y equipos eléctricos tales como inversores, reguladores de carga PWM (Pulse Width Modulation) y MPPT (Maximum Power Point Tracking), protecciones sobre contracorriente, cableado, así como todo lo relacionado al montaje de estructuras y fijación de los paneles solares fotovoltaicos.

De la figura 13 se puede observar que existen tres tipos de paneles solares fotovoltaicos, que son de silicio en las que se tiene del tipo monocristalino que de acuerdo a su estructura es la de más pureza, en comparación con la policristalina que es la que tiene más impurezas, además de que es la más económica, y por su parte las amorfas; que son las que tienen una aplicación donde no se requiere una gran eficiencia. Se encontró que en México existen siete fabricantes de celdas fotovoltaicas, pero hay un predominio en el mercado de marcas de importación, principalmente de origen es China. En cuanto a las estructuras, existen metálicas y de concreto en el mercado, las cuales tienen una gran variedad que depende del lugar y la zona donde se necesitan instalar los paneles solares.

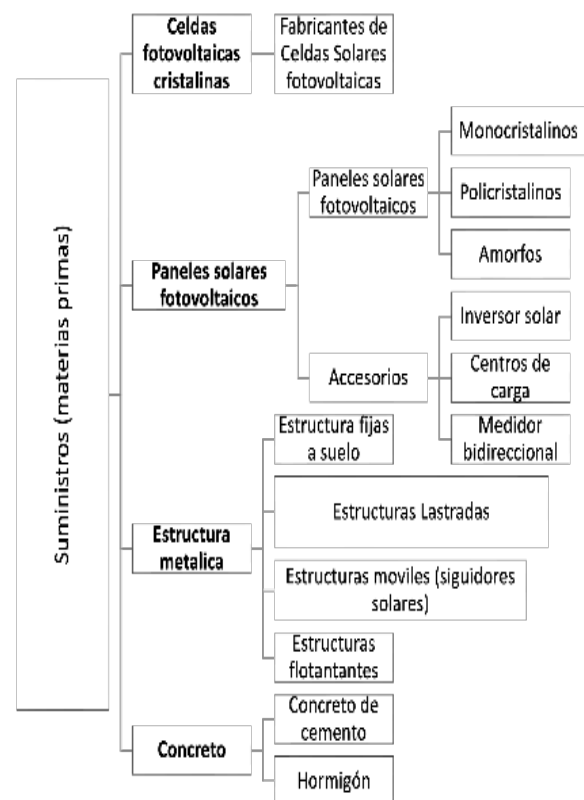


Figura 13. Primer eslabón denominado “suministros” de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica
Fuente elaboración propia

El segundo eslabón corresponde a la etapa de “generación” (figura 14), el cual contempla las empresas que se encargan de realizar el ensamblaje de las plantas fotovoltaicas. En esta figura se desglosa todo lo referente a la parte de arreglos fotovoltaicos, encontrando que los más comunes son las conexiones en serie, paralelo y mixta, el cual dependerá de los paneles que se requieren para alimentar una carga en específico

(voltaje y corriente necesario para alimentar la carga). También considera la instalación del montaje, lo cual va de acuerdo a la posición de los paneles (en vertical u horizontal), si van montados en tejados o en estructura; para darles la inclinación adecuada, que va desde los 15 grados hasta los 35 grados, esto de acuerdo a la zona geográfica de cada lugar y la orientación del sol, el servicio de puesta en marcha, donde el experto realizara un check list, así mismo, también se considera si el sistema fotovoltaico es fijo o móvil, de un eje o el conocido como girasol (este sistema fotovoltaico es donde sigue la trayectoria del sol durante el día, lo cual dependerá de la zona geográfica de donde se estará instalando).

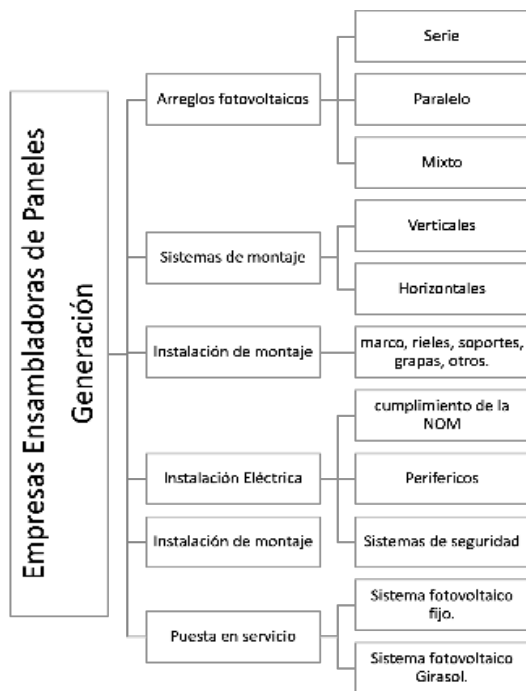


Figura 14. Segundo eslabón de la cadena de suministros propuesta denominado "generación"
Fuente elaboración propia

El tercer eslabón, al cual se le denomina "distribución" se muestra en la figura 15, donde se desglosa cada una de las partes que componen esta etapa, se considera la subestación, que depende directamente de Comisión Federal de Electricidad (CFE), así como las líneas de transmisión y de distribución cuando el lugar de consumo se encuentra distante al punto de generación.

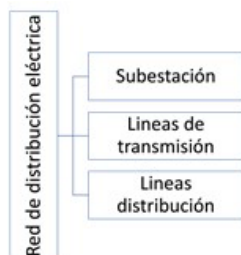


Figura 15. Tercer eslabón de la cadena de suministros propuesta denominado "distribución"
Fuente elaboración propia

En la Figura 16 se presenta el cuarto eslabón, definido como "demanda", el cual desglosa cada una de las partes que compone la etapa, donde se identifican los tipos de consumidores de la energía: residencial, comercial e industrial, que es de acuerdo al voltaje demandado.

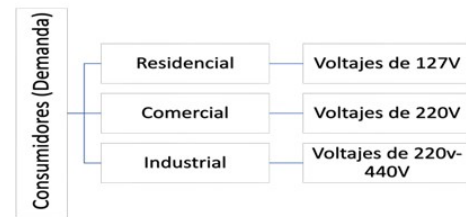


Figura 16. Cuarto eslabón de la cadena de suministros propuesta denominado "demanda"

Fuente: elaboración propia

Como último eslabón de la cadena de suministros, se propone el de "Empresas de reciclado". Con este eslabón se completa la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica, que es la parte de cuando se termina la vida útil de cada componente, donde se contemplan las políticas de eliminación y tecnologías de reciclado (Figura 17).

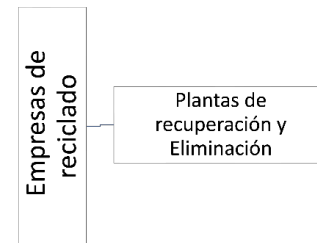


Figura 17. Quinto eslabón de la cadena de suministros propuesta denominado "Empresas de reciclado"

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a Ballou (2004), la cadena de suministro es un conjunto de actividades funcionales que se repiten a lo largo del canal del flujo del producto, mediante las cuales las materias primas se convierten en productos terminados y se añade valor al consumidor. La gestión de la cadena de suministro o supply chain management (SCM) se encarga generalmente de coordinar y sincronizar los procesos logísticos y actores de la cadena, con el fin de establecer un enfoque que facilite la satisfacción de las necesidades de los clientes y el uso adecuado de los recursos (Espinal y Gómez, 2009). Así que, una vez identificadas y analizadas las características de la industria de la energía fotovoltaica, la cadena de suministro y el sistema logístico, se presenta una propuesta que integra los eslabones de la SCM, que incluye la estructura de la cadena de suministro, con el fin de que mejore potencialmente su productividad y contribución a la sostenibilidad ambiental, social y económica, como se presenta en la Figura 18.

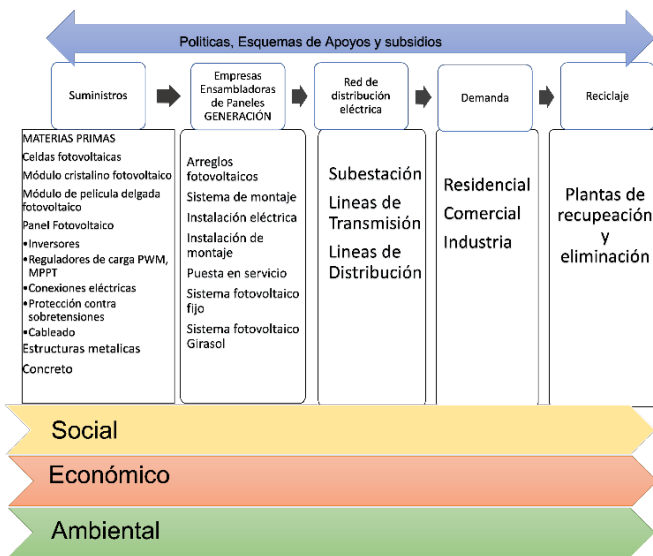


Figura 18. Cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica propuesta
Fuente: Elaboración propia

Para lograr lo propuesto, México deberá plantear una visión de largo plazo y crear políticas públicas que potencien el desarrollo de un mercado de energía solar fotovoltaica, para lo cual se necesita el desarrollo de su correspondiente cadena de suministro y que vaya de la mano de una buena gestión. De lo anterior, se desprende que el reconocimiento y el cumplimiento de los derechos humanos es el eje rector del actuar de todas las autoridades mexicanas en todos los órdenes de gobierno, lo cual incluye a las autoridades estatales y municipales, además de los tres poderes, a saber, el Poder Ejecutivo, el Poder Legislativo y el Poder Judicial. (Rincón, 1999). Dentro de estos derechos humanos se encuentra reconocido el derecho al medio ambiente sano, mismo que puede ser promovido y respetado a través de la implementación de proyectos de energías renovables, en tanto que éstas ayudan a disminuir la emisión de Gases de Efecto Invernadero.

Las energías renovables, si bien es cierto se han convertido en parte integrante de las acciones prioritarias en el combate contra la crisis ambiental que estamos viviendo, aún no se llega a comprender a fondo los elementos que son necesarios para su viabilidad y las ventajas que ofrecen para la sociedad y el medio ambiente.

5. Conclusiones

Los resultados a los que se llegó de acuerdo a la investigación desarrollada con fundamento en la revisión y análisis de artículos, revistas, periódicos y entrevistas con el personal que se encuentran trabajando en la parte de materias primas y generación, permitieron identificar los elementos que han dado la pauta para la configuración de los eslabones que contemplan la cadena de suministros de la energía solar fotovoltaica caso México, los cuales se identifican de la siguiente forma:

1. Suministro de materias primas
2. Empresas ensambladoras de paneles para la generación
3. Red de distribución eléctrica
4. Demanda de consumidores
5. Empresas de reciclado

Se identificó, que la vinculación es uno de los puntos débiles de la cadena de suministro de la energía solar fotovoltaica, con esto se pudo plantear tres variables que involucran la interrelación:

- La social, donde se tiene la influencia de las partes interesadas, el soporte gubernamental hacia la investigación y desarrollo, empleos y oportunidades laborales y por último la aceptabilidad social.
- La económica, que contempla los costos de abastecimiento del capital de inversión, costos iniciales, costos de operación y mantenimiento, tarifas, proyecto ejecutivo y rendimiento energético final.
- La ambiental, que considera la reducción de las emisiones de efecto invernadero, los objetivos internacionales a que se comprometió México a cumplir en el 2020, así como los programas de vigilancia, mantenimiento preventivo de los equipos y paneles solares, conservación del suelo y agua, y una vez terminado el ciclo de vida de la granja solar fotovoltaica implementar la tecnología adecuada para la eliminación o reciclaje de los materiales, así como las políticas de eliminación.

Referencias

- Acciona (2015). Energías Renovables en acciona.com, obtenido <https://www.acciona.com/es/energias-renovables> 2015/
- Acosta Corinna (2015). 12 empresas líderes en energías renovables, <https://www.expoknews.com/12-empresas-lideres-en-energias-renovables/>
- Amara (2019). La gestión de la cadena de suministro en Energías Renovables: Tendencias, retos y oportunidades". amarA <https://www.amara.es/la-gestion-de-la-cadena-de-suministro-en-energias-renovables-tendencias-retos-y-op-ortunidades>
- ANUIES (2020). Anuario de Educación Superior – nivel superior 2019 – 2020. México.
- ASOLMEX (2020). Asociación Mexicana de Energía Solar, Mexico. <https://www.asolmex.org/es/>
- Ballou, R. (2004). *Logística Administración de la Cadena de Suministro*. 5ª ed. México: Pearson Educación.
- BloombergNEF (2018). *Emerging Markets Outlook 2018. Energy transition in the world's fastest growing economies*. Ukaid. <https://global-climatescope.org/downloads/climatescope-2018-report-en.pdf>
- Cepal (2015). El cambio climático y la energía en América Latina. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/39751>
- Chopra S y Meindl P. (2013). *Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación*, 5.ta ed. México: Pearson Educación.
- Enlight. México (2022). Panorama 2022 de la energía solar en México y en mundo, <https://www.enlight.mx/panorama-2022-de-la-energia-solar-en-mexico-y-el-mundo/>
- Espinal, A. y Gómez, R. (2009). Tecnologías de la Información en la cadena de suministro, *Dyna*, 76 (157), 37-48.
- Foster, S. y Elzinga, D. (2019). El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
- Geissdoerfer, M., Morioka, S., de Carvalho, M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712-721. <https://www.otovo.es/blog/energia/legislacion-de-energias-renovables/>
- IEA (2021). Key World Energy Statistics 2021. <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>
- IRENA (2021). Estadísticas de capacidad renovable 2021. <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021-EN>.
- Jorquera, C. (2020). Asociación Internacional de Geotermia (IGA). <https://www.geothermal-energy.org/2020-to-become-a-milestone-year-for-the-global-geothermal-energy-sector-2020>
- Lopéz, V. G. (2012). La cadena de suministro de la energía solar, *Conciencia Tecnológica*, 43, 18-23.
- ONU (2015) Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- OLADE (2021). Situación del consumo energético a nivel mundial y para América Latina y el Caribe (ALC) y sus perspectivas <https://www.olade.org>

/wp-content/uploads/2021/06/Situacion-del-consumo-energetico-a-nivel-mundial-y-para-America-Latina-y-el-Caribe-ALC-y-sus-perspectivas.pdf

Orús, A. (2021). Países líderes en el consumo de energía hidroeléctrica y fotovoltaica en 2020. <https://es.statista.com/estadisticas/635493/paises-lideres-en-el-consumo-de-energia-hidroelectrica-2021>

Qorri, A., Mujkić, Z. y Kraslawski, A. (2018). A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains, *Journal of Cleaner Production*, 189 (10), 570-584.

Reve (2020). La situación mundial de la energía eólica en [evwind.com](http://www.evwind.com). <https://www.evwind.com/2020/07/05/la-situacion-mundial-de-la-energia-eolica/>

Rincón, E. (1999). Estado del arte de la investigación en energía solar en México. Fundación ICA: México. https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/Edo_Arte_Investigacion_Energia_Renovable_Solar_Mexico.pdf

Salinas, E. M. (2020). México está preparado para el desarrollo de proyectos de energía limpia. *Energía hoy*. <https://energiyahoy.com/2020/02/10/mexico-esta-preparado-para-el-desarrollo-de-proyectos-de-energia-limpia/>

SENER (2019). Balance Nacional de Energía 2019. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019>