



Documentos de trabajo

**Economía y Finanzas**

**N° 21-02**

2021

---

**Principales barreras para la Generación  
Distribuida: Evidencia a partir de una revisión  
de literatura**

John J. Garcia, Valentina Giraldo, Sara Montoya

# Principales barreras para la Generación Distribuida: Evidencia a partir de una revisión de literatura

## Main barriers for the Distributed Generation: Evidence from a review

John Garcia-Rendon<sup>1</sup>  
Valentina Giraldo Estrada<sup>2</sup>  
Sara Montoya Posada<sup>3</sup>

Enero de 2021

### Resumen

Este paper por medio de una revisión de literatura examina las principales barreras para la adopción de la generación distribuida (GD) en los principales mercados eléctricos que se ha implementado. Estas barreras las agrupamos en tres niveles: i) el institucional y regulatorio, donde la principal barrera es la falta de un marco regulatorio estable, con incentivos para la implementación de la GD; ii) el económico y financiero, en el que encontramos la necesidad de la reestructuración del mercado y un diseño de la estructura tarifaria que facilite la entrada de nuevos agentes al mercado; y finalmente, respecto a iii) las barreras técnicas, la principal barrera para el funcionamiento de la GD, es el acceso para la conexión a la red, donde en algunos mercados internacionales por medio de la armonización de las normas para el uso de las redes y los procedimientos para las conexiones han incrementado la transparencia y el acceso a esta.

### Abstract

This paper through a literature review examines the main barriers to the adoption of distributed generation (DG). We group these barriers into three levels: i) the institutional and regulatory, where the main barrier is the lack of a stable regulatory framework, with incentives for the implementation of DG; ii) the economic and financial, where we find the need for market restructuring and a tariff structure design that facilitates the entry of new agents into the market, and finally, iii) technical barriers, the main barrier to the functioning of DG, is access to the grid, where in some international markets through the harmonization of standards for the use of networks and procedures for connections have increased transparency and access to the grid.

**Palabras Clave:** Generación Distribuida; Barreras Institucionales, Económicas y Técnicas; Diseño de Mercados; Regulación.

**Key Words:** Distributed Generation; Institutional, Economic and Technical Barriers; Market Design; Regulation.

**JEL Classification:** D47; L23; L51.

---

Los conceptos expresados en este documento de trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores y en nada comprometen a la Universidad EAFIT ni al Centro de Investigaciones Económicas y Financieras (Cief). Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido citando siempre la fuente.

<sup>1</sup> Research Group in Economics and Business, Centro de Investigaciones Económicas y Financieras (Cief), Department of Economics, Ph.D in Economics, Professor, Universidad EAFIT. AA 3300 Medellín. (Colombia). Phone: (+574) 2619549, Fax: (+574) 2664284. E-mail: jgarcia@eafit.edu.co

<sup>2</sup> Department of Economics, Universidad EAFIT. E-mail: vgiral16@eafit.edu.co

<sup>3</sup> Department of Economics, Universidad EAFIT. E-mail: smonto49@eafit.edu.co

## 1. Introducción

Los cambios disruptivos en los mercados energéticos a partir de tecnologías más eficientes en el mundo, han evidenciado el crecimiento de la generación distribuida (GD). Conforme los costos de instalación de los sistemas de generación de energía a pequeña escala a partir de energías renovables no convencionales han disminuido, la generación a partir de estas fuentes ha presentado un notable crecimiento; además, de sus beneficios económicos y técnicos, ya que mejora la confiabilidad del suministro, lo que la ha convertido en una alternativa de electricidad segura para los generadores y consumidores. Inicialmente, mecanismos como las Feed-in-Tariff (FiT), descuentos y certificados por el uso de las energías renovables y, beneficios fiscales, fueron los más utilizados, pero en los últimos años, mecanismos de mercado más eficientes, como las subastas, se han convertido en el más utilizado (IRENA, 2019; Pupo-Roncallo, Campillo, Ingham, Hughes & Pourkashanian, 2019; Duque, Marmolejo & de Torres, 2004; Menanteau, 2004).

La GD ha adquirido importancia debido a la liberación de los mercados eléctricos, la entrada de nuevos jugadores al sistema y los cambios a nivel económico y normativos (El-Khattam & Salama, 2004; Miskinis et al., 2011; Pepermans, Driesen, Haeseldonchx, Belmans & D'haeseleer, 2005). La implementación de esta forma de generación en el sistema eléctrico en los mercados que se ha realizado, ha permitido la expansión de la capacidad del sistema, logrando beneficios relacionados con mejoras en la seguridad en el suministro, la reducción de gases de efecto invernadero, aumento en la eficiencia y una mayor flexibilidad en las inversiones (Perera, 2016; Romero-grass et al., 2019; Ropenus & Skytte, 2005). Además, de permitir el desarrollo de nuevos modelos de negocios en los sistemas eléctricos como prosumidores, almacenamiento, agregadores, operadores de red distribuidos y agentes responsables de los desvíos.

Sin embargo, el futuro de estas nuevas tecnologías depende directamente del desarrollo de la GD (Babayomi, Babatunde & Okharedia, 2018; Gómez, Hernández & Rivas, 2018; Mehigan, Deane, Gallachóir & Bertsch, 2018), aún encontramos que existen barreras que dificultan el ingreso de esta tecnología; así el objetivo de esta investigación, por medio de una revisión de literatura, es examinar las principales barreras para la adopción de la generación distribuida en los principales mercados eléctricos a nivel internacional. Estas barreras las agrupamos en tres niveles: i) el institucional y regulatorio, donde la principal barrera es la falta de un marco regulatorio estable, con incentivos para la implementación de la GD; ii) el económico y financiero, en el que encontramos la necesidad de la reestructuración del mercado y un diseño de la estructura tarifaria que incluya las nuevas tecnologías para facilitar la entrada de nuevos agentes al mercado; y finalmente, iii) respecto a las barreras técnicas, la principal barrera para el funcionamiento de la GD, es el acceso para la conexión a la red, donde en algunos mercados internacionales por medio de la armonización de las normas para el uso de las redes y los procedimientos para las conexiones han incrementado la transparencia y el acceso a esta.

En el caso del sector eléctrico colombiano aun es una solución para mitigar el impacto de las sequías por la gran dependencia de las fuentes hidráulicas y, en consecuencia del fenómeno de El Niño, la volatilidad del precio de los combustibles y el impacto ambiental generado por estos, convirtiéndose en una complementariedad para un mejor funcionamiento del Mercado Eléctrico Colombiano (Liu, Li & Zhao, 2014; Palomares-Morón, Vásquez, Escudero-Atehortua & Toro, 2019; Quintero & Jiménez, 2013). Además, mediante la implementación de la GD se puede dar la

dinamización del mercado permitiendo una caída en el precio que se paga por la prestación del servicio de energía, si se hace eficientemente (Hidayat & Li, 2013; Romero-grass, Mach, Guzmán, Velásquez & Zambrano, 2019; Skariah, Thomas & Manikuttan, 2017). Sin embargo, en Colombia el uso de la GD es relativamente bajo, ya que actualmente existen diferentes barreras para la entrada de esta forma de generación, lo que se traduce en una solución costosa para el cliente final, por tanto, evidenciamos la falta de un estudio que permita identificar estas barreras, lo cual se convierte en la contribución de este estudio.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. En la sección dos se presenta el marco conceptual, en la cual se definen algunos conceptos importantes sobre la generación distribuida. La sección tres presenta la metodología utilizada para lograr el objetivo propuesto. En la sección cuatro presentamos los resultados obtenidos de acuerdo a la revisión de literatura, clasificándolas en barreras de carácter institucionales y regulatorias, económicas y financieras y, técnicas. Por último, la sección cinco, presenta las oportunidades y los desafíos a los cuales se han enfrentado para la adopción de la GD.

## **2. Marco Conceptual**

La GD surge desde 1999 en busca de la reducción de costos y disminución de problemas de interrupción (Dulau & Bica, 2015; Kakran & Chanana, 2018; Naghizadeh, Afrakhte & Ziapour, 2018), esta forma de generación de energía eléctrica se da por medio de cualquier fuente a pequeña escala, cerca al centro de carga, con la opción de comprar o vender energía eléctrica al sistema interconectado o de trabajar aisladamente (Colmenar-Santos, Reino-Rio, Borge-Diez & Collado-Fernández, 2016; Dulau, 2015; Quintero & Jiménez, 2013). Puede implementarse por medio de un amplio rango de tecnologías que pueden ser desde generadores de combustión tradicionales hasta las no tradicionales como celdas de combustible, con unas características como lo son: generador como fuente de electricidad a pequeña escala integrada al sistema de energía, el generador es instalado cerca al sistema o al consumidor, se requiere una fuente de generación para cubrir la capacidad necesaria para la confiabilidad de suministro del consumidor y el generador beneficia el sistema de potencia, al usuario o a ambos (Ackermann, Andersson & Söder, 2001; Miskinis, Norvaisa, Galinis & Konstantinavičiute, 2011; Picciariello, Vergara, Reneses, Frías & Söder, 2015).

Aunque aún prima la generación centralizada y el alcance de este es muy alto, la cantidad de GD en las redes eléctricas ha aumentado en los últimos años en varios países del mundo debido a los beneficios, las políticas energéticas e incentivos para el desarrollo de la GD (Bayod-Rújula, 2009; Picciariello, Vergara, et al., 2015), lo que en el corto y mediano plazo se percibe una complementariedad entre la generación centralizada y la distribuida. De acuerdo con BloombergNEF (2018) se espera que para el 2050 a nivel mundial se cuente con mayor ratio de descentralización, el cual está ligado a la capacidad de respuesta de la demanda, almacenamiento y GD, principalmente en países como Brasil, Australia y México (Figura 1).

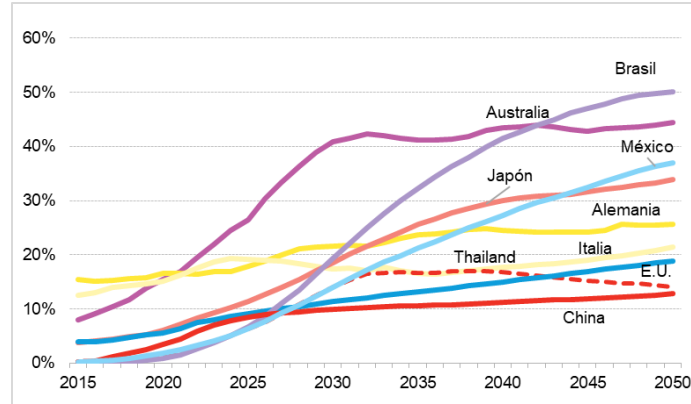


Figura 1. Ratio de descentralización - pronóstico  
Fuente: BloombergNEF (2018).

### 2.1. Funcionamiento Técnico de la GD

En zonas interconectadas, el generador se encuentra conectado a la red mediante un equipo de acople a esta, el cual busca cubrir la demanda de energía de los usuarios y los excedentes resultantes puedan ser inyectados a la red, tal como puede observarse en la Figura 2 (Carley, 2009; Hernandez, Velasco & Trujillo, 2011; Secretaria de Energía, 2008). Esta generación puede ser a partir de fuentes como turbina eólica, plantas fotovoltaicas, biomasa, mini hidráulica, solar térmica, entre otros; estas tecnologías tienen diferentes rangos de potencias y de rendimientos (Balaguera, Cortes & Uruena, 2012; Razavi, Rahimi, Javadi, Nezhad, Lotfi, Shafie-khah & Catalao, 2019; Tecnalia, 2007).

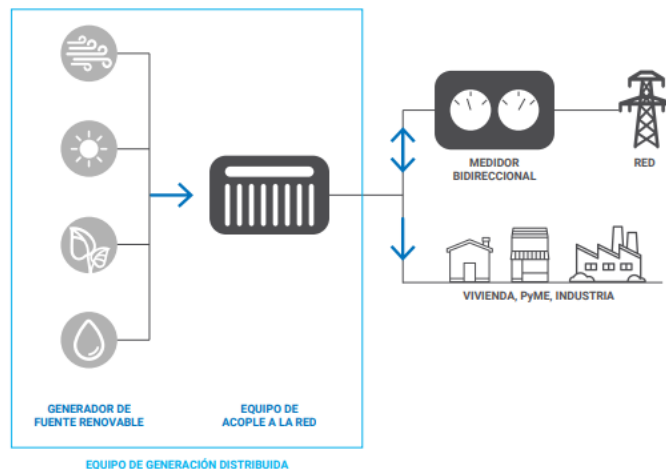


Figura 2. Conexión de la GD a la red  
Fuente: Secretaria de energía (2008).

Esta forma de generación proporciona energía a nivel local y brinda soporte en el voltaje de las cargas, reduciendo la carga del sistema de la red, sin embargo, al estar conectado al sistema interconectado, las corrientes se podrían distorsionar (Bayod-Rújula, 2009; Londero, Affonso & Nunes, 2009; Tan, Peng, So, Chu, & Chen, 2012). En la planificación de los recursos energéticos distribuidos (DPR) realizadas por diferentes países, se encuentra además de la implementación, aspectos de planificación en la transmisión y distribución (T&D), ya que la introducción de la GD

puede reducir la necesidad de una nueva infraestructura, lo cual termina afectando la planificación de todos los niveles de la cadena del sistema (Batz, Relf & Nowak, 2018; Nazari & Ilic, 2010), haciendo necesario realizar un nuevo planteamiento acerca del actual sistema de energía eléctrica.

Simultáneamente a la generación de electricidad, estos sistemas de GD pueden generar calefacción y refrigeración, mediante tecnologías de cogeneración, sin embargo, se requiere de un diseño racional mediante la elección apropiada de los equipos y la capacidad de estos (Yang, Zhang & Xiao, 2017).

## 2.2. Eficiencia, Costos y Barreras de Entrada de la GD.

En la eficiencia energética, los métodos de valoración han cobrado mayor importancia, ya que estos anteriormente se enfocaban en los beneficios anuales a nivel de sistema, hoy en día se consideran las diferencias existentes según la ubicación del sistema, la temporada y la existencia de horas picos en el funcionamiento (Batz et al., 2018; Chiradeja & Ramakumar, 2004). Sin embargo, algunos autores destacan la importancia de la eficiencia energética como uno de los beneficios de la GD (Ma, Dasenbrock, Tobermann & Braun, 2019; Venkataramanan & Marnay, 2008).

La implementación y dinamización de la GD está en proceso de desarrollo y crecimiento que traerá beneficios en el mediano y largo plazo. De manera relevante, los desarrollos tecnológicos, el crecimiento de la demanda y la caída de los precios de inversión inicial, han permitido que en los últimos años haya incrementado considerablemente la inversión en energía limpia (Dulau, Abrudean & Bica, 2014; Mills & Byrne, 2015). Esto se puede ver reflejado en la disminución del CapEx, tanto de la tecnología solar con la tendencia del precio del módulo fotovoltaico (FV) (Figura 3), como en la tendencia del precio de la turbina eólica (Figura 4). A su vez, la liberalización del mercado energético podría dar como resultado una disminución en los costos, lo cual sirve como incentivo para estimular la entrada de nuevos agentes al mercado (Menanteau, 2004; Vogel, 2009).

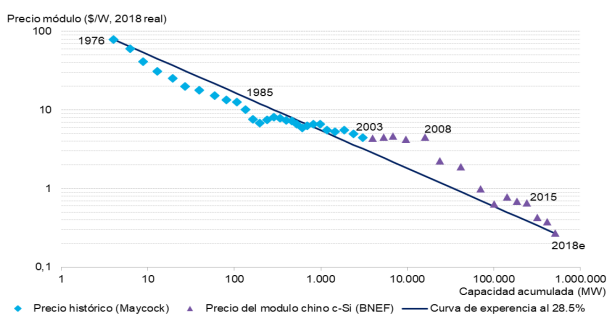


Figura 3. Histórico precio módulo FV  
Fuente: Paul Maycock en (BloombergNEF, 2018).

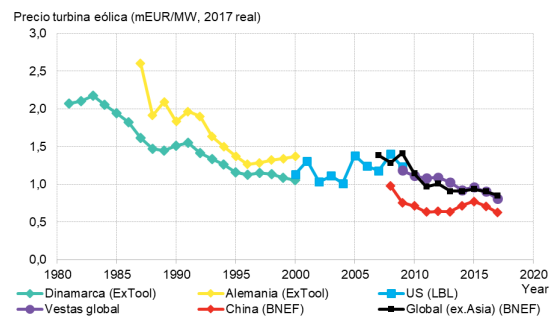


Figura 4. Histórico precio turbina eólica  
Fuente: BloombergNEF (2018).

## 3. Metodología

La metodología utilizada en este estudio es una revisión de literatura utilizando únicamente publicaciones académicas indexadas y diferentes artículos o documentos técnicos publicados por instituciones y autoridades oficiales del sector. Para esto, realizamos una búsqueda en las bases de datos académicas más relevantes, como Web of Science (WoS), ScienceDirect, EBSCOhost y Scopus. También se realizó una búsqueda de información en bases de datos especializadas e instituciones importantes del sector como BloombergNEF, Institute of Electrical and Electronics

Engineers (IEEE) y la agencia internacional de energía (IEA, por sus siglas en inglés), tomando en cuenta algunas fuentes necesarias para la explicación de un concepto o ampliación de la información.

Para esta búsqueda de información empleamos palabras claves en inglés como “Distributed Energy Resources”, “Distributed Generation” y “Distributed Energy”, con el fin de buscar información más precisa, consistente con palabras como: “economic”, “incentivizing”, “efficiency”, “cases”, “barriers”, entre otras. Además, de revisar las experiencias en algunos mercados a nivel mundial con mayores avances sobre el tema en Estados Unidos, Alemania, Australia, España, Brasil y Chile, que permiten identificar dichas barreras. También, se obtuvo información sobre diferentes casos de estudio que conllevaron a una profundización de la revisión de literatura.

A medida que analizamos la información, se fue sistematizando dependiendo a la base de datos donde fue encontrada, el año de publicación y la revista donde fue publicada, con el fin de hallar información actualizada y relevante en los últimos años. La gran mayoría de estos artículos, se obtuvieron de revistas reconocidas e importantes que contribuyen al sector energético, como muestra la tabla 1, gracias a su cantidad de citas y, así poder caracterizar las principales barreras que se pueden tener para la implementación de GD.

*Tabla 1. Revistas más utilizadas para la revisión de literatura*

<b>Revistas más usadas</b>	<b>Artículos por revista</b>	<b>Nº de citas</b>
Renewable and Sustainable Energy Reviews	19	1741
Energy Policy	19	2574
Energy	4	401
Electric Power Systems Research	4	5666
Renewable Energy	4	304
Applied Energy	4	301
IEEE power engineering society general meeting	3	1188
The Electricity Journal	3	41
Utilities Policy	3	77
Solar Energy	3	38
IEEE Power and Energy Society General Meeting	3	49
IEEE International Energy Conference - ENERGYCON	2	29
Tecnura	2	41
Bloomberg NEF	2	199
Journal of Cleaner Production	2	45
IEEE Power and Energy Magazine	2	311
Conference on Sustainable Power Generation and Supply	2	14
IEEE Transactions on Power Systems	2	1264
China International Conference on Electricity Distribution	2	22
Otras revistas (63)	71	63315

*Fuente: elaboración propia*

#### **4. Resultados**

A partir de la revisión de literatura, las principales barreras de entrada para la implementación de la GD, pueden separarse en tres grandes aspectos: barreras regulatorias e institucionales,

barreras económicas y financieras y barreras técnicas ( Horváth & Szabó, 2018; Colmenar-Santos et al., 2016; Leão, Barroso, Sampaio, Almada, Lima, Rego & Antunes, 2011; Lopes, Hatziaargyriou, Mutale, Djapic & Jenkins, 2007).

#### ***4.1. Barreras Regulatorias e Institucionales***

Como lo establece North (1991), las Instituciones, definidas como “las normas de juego en una sociedad o, más formalmente, son las limitaciones ideadas por el hombre que dan forma a la interacción humana. Por consiguiente, estructuran incentivos en el intercambio humano, sea político, social o económico.” Juegan un papel fundamental para incentivar o desestimar, en este caso, la entrada de GD y, por tanto, los lineamientos institucionales son muy importantes y deben estar alineados con el objetivo de implementación de la generación distribuida.

El mercado energético es una cadena altamente regulada a nivel mundial, lo cual impide la autonomía de los diferentes agentes, esto se ha convertido en un foco desde finales de la década de los 2000 para los académicos y los encargados de formular políticas, con el fin de prestarle mayor atención a estas políticas regulatorias y permitir mayor competencia de los mercados eléctricos (Colmenar-Santos et al., 2016; Tarui, 2017; WWF, ECOFYS & OMA, 2011). Con los cambios disruptivos que se vienen presentando en los mercados energéticos, actualmente se están rediseñando los mercados y la regulación, para que sean consistentes con las tendencias de descarbonización, digitalización de los servicios, las nuevas tecnologías y el almacenamiento. Pues tanto líderes de la industria como reguladores han sugerido una actualización de las reglas del mercado, para tener una política clara y de esta manera permitir la transición a la implementación de tecnologías más innovadoras como los recursos energéticos distribuidos. El diseño y la adopción de estas reglas deben tener un análisis exhaustivo con el fin de garantizar que tanto los recursos existentes como los que se implementen, estén en igualdad de condiciones y así poder competir más eficientemente (Burger & Luke, 2017; Colmenar-Santos et al., 2016).

De esta manera, es importante reconocer que, para la adopción de la GD, se debe contar con una política asociada a estas, ya que en ausencia de esas políticas se verá afectada la inclusión de este tipo de generación, debido a razones históricas en la forma en que las redes de distribución han sido desarrolladas y operadas de manera pasiva (Arias, Ardila & Ruiz, 2006; Lopes et al., 2007).

Los casos de diferentes economías como Alemania, Australia y Estados Unidos (algunos mercados), junto a otros mercados de diferentes regiones han evidenciado la gran relevancia de enmarcar un plan de regulación que soporte políticas complementarias con el fin de incentivar la implementación de la GD (Alqahtani & Patiño-Echeverri, 2019; da Silva, Dantas, Pereira, Camara & De Castro, 2019; Liu, Wang, Sun, Lin & Xiao, 2013; Mukhopadhyay & Singh, 2009). Además, en países como Brasil y Chile, similares a Colombia han presentado estrategias de modernización energética, las cuales son ejemplos útiles con respecto al tema (Garcez, 2017; Heideier, Bajay, Jannuzzi, Gomes, Guanais, Ribeiro & Paccola, 2020; IEA, 2020).

En el caso específico de Australia, se puede evidenciar que en relación al marco regulatorio se ha contado con reglas y políticas como incentivos, acceso libre y justo a las redes de distribución de energía, acuerdos contractuales y regulaciones ambientales, que han permitido la transición del mercado energético a la GD (Sharma & Bartels, 1997; Sztatow, Quezada & Lilley, 2012). Por otro lado, casos como el de España han reflejado que la falta de un marco regulatorio claro y estable, pueden impedir la implementación de la GD, a pesar de tener otros factores que resultan ser



posibles oportunidades para el desarrollo del mercado energético (Mateo, Frías, Cossent, Sonvilla & Barth, 2017; Rosales-Asensio, Simón-Martín, Borge-Diez, Pérez-Hoyos & Santos, 2019).

De acuerdo con los casos internacionales, se muestra que las políticas públicas son fundamentales para la introducción de fuentes renovables a pequeña escala, conociendo los beneficios que estas pueden aportar y convirtiéndose en una de las barreras en las que se debe comenzar a trabajar para poder llevar a cabo este tipo de proyectos (Borne, Petit & Perez, 2016; Hansen, Mathiesen & Skov, 2019; Leão et al., 2011).

#### ***4.2. Barreras Económicas y Financieras***

En los sistemas actuales de energías renovables existen fallas en las diferentes etapas, tanto en la pre factibilidad y pre comercialización, por la estructura de los mercados y el acceso a estos, en el desarrollo debido a los costos de las tecnologías y, en la comercialización, a causa de la estructura en las tarifas (Allen, Hammond & McManus, 2008).

##### ***4.2.1. Estructura del Mercado***

El acceso al mercado resulta ser un importante desafío para la GD, ya que este demuestra los esquemas de soporte, el acceso a venta de energía en diferentes mercados y las condiciones de equilibrio de una manera centralizada. Por tanto, resulta la estructura del mercado y la falta de integración en este, una de las barreras para la implementación de diferentes tecnologías (Botero, Arbelaez, García, 2019; Poplavskaya & de Vries, 2019; Ropenus & Skytte, 2005). Así mismo, es necesario conocer los comportamientos estratégicos de las empresas de energía, las empresas de la red y sus usuarios (Dong, Feng, Sun, Cai, Li & Yang, 2016).

Una de las características del mercado, específicamente la generación de energía, suele contar con una alta concentración, acompañado de economías de escala y alcance, lo cual hace que, para los nuevos jugadores y operadores más pequeños de GD, la competencia en igualdad de condiciones de precio sea más compleja (Ropenus & Skytte, 2005). Además, la mala gestión y habilidades empresariales en algunos países en desarrollo, pueden llegar a afectar la creación de valor y operaciones corporativas (Horváth & Szabó, 2018).

El mercado de Australia, resulta ser un buen caso para demostrar las ventajas sobre otros mercados. En este país se ha dado una reestructuración en cuanto al mercado, desagregando los diferentes agentes de la cadena, convirtiéndose constitucionalmente la política energética asunto de cada Estado, donde se dio lugar a múltiples cambios, principalmente entrada de nuevos competidores privados en algunos estados, a quienes se les permitía la integración vertical; esta desregulación, específicamente las oportunidades económicas para el acceso al mercado tanto mayorista como minorista, fue una de las principales motivaciones para el aumento de la GD en este mercado (Sharma & Bartels, 1997). Por otro lado, el mercado de Alemania también presenta un ejemplo clave en cuanto a las condiciones en equilibrio del mercado, limitando los riesgos involucrados a los desequilibrios individuales de cada agente (Menanteau, 2004; Richter, 2013).

##### ***4.2.2. Costos de las Tecnologías***

Los costos de las inversiones han sido un impedimento relevante para la adopción de FNCR, además del aumento en los costos de operación y mantenimiento, los costos de transacción para las conexión a la red y también los costos de las baterías (Garlet et al., 2019; Horváth & Szabó, 2018). Sin embargo, en los últimos años los costos de las diferentes tecnologías han disminuido y

tal como se mencionó anteriormente han surgido diferentes estrategias financieras con el fin de enfrentar este desafío (Burger & Luke, 2017; IEA, 2019; Nieto, 2016).

La evolución de estos costos depende del tipo de tecnologías, ya que cada una tiene diferentes costos. Las tecnologías de energía solar fotovoltaica, eólica y de baterías son actualmente las industrias más competitivas en los procesos a gran escala, pues encuentran innovación continuamente, lo cual permite facilitar la eficiencia en la producción, materiales y uso de la energía (BloombergNEF, 2018). Los costos de las tecnologías, solar y eólica, han reflejado considerablemente una disminución del CapEx, como se evidencia en las Figuras 3 y 4.

En la actualidad, la mayoría de países han presentado aumentos significativos en la implementación de la GD, como lo es el caso de Estados Unidos, Alemania, California y México, debido a la disminución de los costos, específicamente de las tecnologías asociadas a la fotovoltaicas con menores precios de módulos e inversores, han permitido que la competitividad aumente en el sector residencial, comercial y de Servicios Públicos (Hancevic, Nuñez & Rosellon, 2017). Por otro lado, casos como el de China, presenta diferencias en relación a los costos, pues siendo uno de los países de mayor producción de las tecnologías, los costos de mano de obra han influenciado en el crecimiento de la GD, y ha llegado a ser una preocupación para el futuro de estas tecnologías en el país (Zhang, Deng, Margolis & Su, 2015).

#### **4.2.3. Estructura Tarifaria**

Una barrera de entrada importante de la implementación de la GD que se evidencia en la gran mayoría de los mercados revisados, California, PJM, Alemania, Reino Unido, tiene que ver con la famosa espiral de la muerte dado que en la medida que hay más prosumidores que autogeran no utilizan el servicio de la red y, por tanto, los operadores de red dejan de percibir la remuneración por la prestación de este servicio (Botero et al., 2019; Patiño, Correa & Garcia, 2019).

Debido al aumento por la penetración de GD en los sistemas energéticos y la inclusión de nuevos agentes en el mercado, se requiere la inclusión de estos en la estructura tarifaria, teniendo la necesidad de implementar nuevas metodologías en la asignación de costos (Cambini & Soroush, 2019). Este tema ha sido uno de los intereses por parte de los académicos en buscar diseños de tarifas, en los cuales estén incluidos los sistemas descentralizados y las tecnologías innovadoras que se han desarrollado a partir de la transición energética, en los cuales la mayoría se centran en los cambios con respecto a los operadores del sistema y los sistemas de distribución (Cambini & Soroush, 2019; Picciariello, Reneses, Frias & Söder, 2015).

Casos como el de California, PJM, (Estados Unidos) y Alemania han demostrado la importancia de un cambio en la estructura tarifaria con el fin de lograr la implementación y adaptación de las nuevas tecnologías, utilizando tarifas de interconexión, basadas según las tarifas de red y tiempo de uso, para los usuarios de nuevos sistemas fotovoltaicos, con el fin de evitar la espiral de la muerte de los operadores de la red. Además, fue necesario un cambio en la estructura de tarifas residenciales y la implementación de tiempos de uso para este tipo de clientes (Craig, Jaramillo, Hodge, Williams & Severnini, 2018; da Silva et al., 2019; Patiño et al., 2019). Por otro lado, casos como el de Reino Unido (Menanteau, 2004; Strbac, 2006; Botero et al., 2019) y Australia (Nelson, McCracken-Hewson, Whish-Wilson & Bashir, 2018; Roberts, Bruce & MacGill, 2018), demuestran la importancia de un buen diseño tarifario para la implementación de la GD en los sistemas energéticos, ya que en este diseño no se encuentran incentivos que incluyan

la GD y, por tanto, para los generadores y operadores de red no resulta beneficioso la adopción de esta tecnología.

### **4.3. Barreras Técnicas**

La implementación de las energías renovables presenta un desafío en cuando a la estructura eléctrica del sistema, ya que hace necesario el desarrollo de nuevas estrategias que implican cambios en el diseño de la red, la infraestructura y las tecnologías que ayuden a mejorar la operación para garantizar la eficiencia, la seguridad y la calidad de estos nuevos agentes (Alsokhiry & Lo, 2013; Lai, Chan, Lee & Lai, 2011).

#### **4.3.1. Funcionamiento**

Una de las principales barreras para el funcionamiento de la GD, es el acceso a la conexión de la red, pues las normas existentes entre el funcionamiento de la red y las unidades de GD, tienen un impacto como desincentivo para la instalación de estos últimos y, por tanto, conlleva a costos adicionales (Pazouki & Haghifam, 2015b; Thornton & Monroy, 2011). Los problemas entre estos dos agentes, principalmente son a causa del voltaje de la conexión, la capacidad de la red existente y los posibles refuerzos, como son las tecnologías de protección y la posibilidad de control remoto por parte del operador de la red (Driesen & Belmans, 2006; Menanteau, 2004; Singh & Parida, 2018), además, de exponer al cliente y al dueño a un posible daño del sistema (Walling, Saint, Dugan, Burke & Kojovic, 2008).

La estimación de las pérdidas en las redes de distribución por la implementación de la GD, ha sido otro de los focos importantes en cuanto a las limitaciones y la eficiencia del suministro, sin embargo, diferentes autores han desarrollado indicadores que permiten cuantificar estas pérdidas rápidamente con el fin de considerar los impactos de la GD en las redes de distribución (Dang, Yu, Dang & Han, 2011; Hernandez et al., 2011; Ma et al., 2019). Algunos autores también ofrecen la disponibilidad de información para ofrecer ubicaciones óptimas, mejorando la eficiencia energética y haciendo que algunas redes se vuelvan técnicamente posibles y asequibles (Georgilakis & Hatziargyriou, 2013; Mahmoud & Yorino, 2016; Xiaoqun, Jiahong & Feng, 2009).

Para lograr resolver esta barrera, algunos países han logrado la armonización de las normas en cuanto a las redes y los procedimientos para las conexiones, con el fin de lograr una implementación más transparente y accesible de la GD (Thornton & Monroy, 2011). Dicho esto, lograr el funcionamiento técnico en las redes de distribución está relacionado también con un apoyo en la regulación de los países, como en las micro redes, por diferentes factores como derechos de propiedad, integridad de los contratos, eficiencia de la electricidad, entre otros (Gui, Diesendorf & MacGill, 2017).

#### **4.3.2. Infraestructura**

La adopción de la generación distribuida requiere diferentes condiciones en el sitio de su instalación, dependiendo de la tecnología y la capacidad, estas condiciones varían la infraestructura necesaria. Sin embargo, para la mayoría de tecnologías es necesario contar con el recurso necesario con el fin de proporcionar la electricidad esperada (Jun-Fang, Si-Min, Yin-Li & Guang, 2009).

Por un lado, para la implementación de paneles fotovoltaicos se han realizado diferentes estudios para una instalación óptima y eficiente (Abdmouleh, Gastli, Ben-Brahim, Haouari & Al-

Emadi, 2017; Krauter, 2018). Específicamente, Zhang et al. (2015) proponen que para la adopción de esta tecnología sobre edificaciones se requiere que estas tengan los tejados adecuados, tengan las capacidades estructurales de la edificación y además cuenten con la adecuada capacidad de carga de peso, ya que este es limitado en la mayoría de edificaciones. Uno de los casos donde la falta de infraestructura necesaria ha restringido la implementación de la GD, es China, ya que en esta economía la gran mayoría de edificaciones tienen estructuras antiguas lo cual dificulta la evaluación estructural, puesto que los documentos necesarios para esta evaluación no se encuentran disponibles y, por tanto, debe incurrirse en costos adicionales para realizar dicha evaluación (Zhang et al., 2015).

A diferencia de las plantas fotovoltaicas, la infraestructura necesaria para otras tecnologías como la eólica es diferente, para esta es importante contar con suficiente extensión de tierra considerable por cada turbina instalada, lo cual hace que, para instalar mayor cantidad, se necesitaría mayor cantidad de turbinas y, por tanto, mayor espacio de tierra, teniendo en cuenta que las turbinas alcanzan a perturbar la tierra a una distancia considerable (Mer & Patel, 2016). Sin embargo, la generación distribuida a partir de esta tecnología, aun cuenta con dilemas claves para su implementación como lo es la ubicación, la volatilidad de la energía y la relación económica de los equipos (Carrasco-Díaz, Rivas, Orozco-Contreras & Sánchez-Montante, 2015; Hongkai, Chenghong, Jinghui & Yuexi, 2008).

La importancia de una buena evaluación de proyectos, en la cual se analicen diferentes factores es importante para llevar cabo la implementación de la tecnología eólica (Diógenes, Rodrigues, Diógenes & Claro, 2020; Gebreslassie, 2020), entre estos factores se encuentra una buena ubicación donde además de contar con buen recurso, se cuente con el suficiente terreno y, además, un acceso que permita el transporte de los equipos, ya que estos se caracterizan por peso y dimensiones considerables, como es el caso de Brasil, donde estas evaluaciones hacen que los proyectos sean más demorados, pero se logra controlar las barreras que se han mencionado en cuento a esta tecnología (Diógenes et al., 2020).

#### ***4.3.3. Tecnologías complementarias***

Para lograr una eficiencia de los recursos distribuidos es necesario contar con un “sistema distribuido” el cual permita tener un control y monitoreo avanzado de este, contando principalmente con la presencia de tecnologías como programas de respuesta de la demanda, sistemas de almacenamiento de energía, sensores de línea avanzados, medidores inteligentes, entre otros, con el fin de que puedan operar conjuntamente y se logre obtener la mayor eficiencia tanto de la GD, como de la red de distribución (Kowalska-Pyzalska, 2018; Miller, Johns, Sortomme & Venkata, 2012; Rehmani, Reisslein, Rachedi, Erol-Kantarci & Radenkovic, 2018).

Respuesta de la demanda (DR) son los cambios en los patrones de consumo realizados por los clientes como respuesta a las fluctuaciones en los precios de la electricidad en el tiempo (Albadi & El-Saadany, 2007). Mediante estos programas de respuesta de la demanda, los consumidores pueden llegar a cambiar el perfil de carga, conduciendo a sistemas de energía con voltaje equilibrado, permitiendo un consumo óptimo y eficiente (Patiño et al., 2019; Roldán-Blay, Escrivá-Escrivá & Roldán-Porta, 2019; Viana, Junior & Udaeta, 2018; Wang, Huang, Wang, Zeng, Li, Wang & Zhang., 2018). Sin embargo, estos programas se enfrentan a barreras similares a la GD, como lo es la regulación, la remuneración, el rol dentro del mercado y, por otro lado, la protección del consumidor (Kakran & Chanana, 2018; Wohlfarth, Worrell & Eichhammer, 2020).

Otra barrera de gran importancia, es la información en tiempo real, debido a los cambios inesperados que pueden surgir en los sistemas (Albadi & El-Saadany, 2007).

La tecnología de red inteligente, “Smart Grid”, es una red que tiene la posibilidad de combinar la tecnología de la información con la red actual del sistema, permitiendo maximizar los beneficios tanto de las empresas de servicios públicos como de los consumidores, garantizando un suministro confiable mediante el uso eficiente de las fuentes disponibles (Hernando-Gil, Ilie, Collin, Acosta & Djokic, 2012; Kakran & Chanana, 2018). Esta red podría funcionar como una red de comunicaciones, donde las empresas podrían participar junto con los GD, permitiendo realizar transacciones en tiempo real, obteniendo mayor confiabilidad, mayor rendimiento y menores costos operativos para las empresas de servicios públicos y los propietarios de la GD recibir altos beneficios, a causa de estas transacciones (Thornton & Monroy, 2011; L. Zhang, Gari & Hmurcik, 2014). Uno de los riesgos para las redes inteligentes, es la respuesta tanto a las fallas por parte de la GD conectadas a la red, como la red existente (Gujar, Datta & Mohanty, 2013). La operación de las redes inteligentes presenta un gran desafío para su implementación, pues las barreras existentes deben tratarse conjuntamente para lograr un buen servicio de estas, entre estos factores se encuentra su evolución tecnológica y aspectos comerciales, los cuales pueden ser diferentes según las políticas sociales, reglamentarias y económicas de cada caso en particular (Basak, Chowdhury, Nee Dey & Chowdhury, 2012; Bellido, Rosa, Pereira, Falcao & Ribeiro, 2018; Soshinskaya, Crijns-Graus, Guerrero & Vasquez, 2014).

La infraestructura en medición avanzada, por sus siglas en inglés “AMI” (Advanced Metering Infrastructure), se encarga de informar el consumo de la energía en tiempo real, lo cual ayuda a la modulación de la demanda, mejorando y optimizando la generación, distribución y consumo de electricidad; la implementación de los AMI’s permite un buen funcionamiento de las redes inteligentes siendo un medio para obtener la cuantificación de los beneficios (Rodríguez Nieto & Veléz Cataño, 2019; Römer, Reichhart, Kranz & Picot., 2012; Viana et al., 2018). Al igual que las anteriores tecnologías, la implementación de los AMI’s presenta barreras similares debido al diseño de tarifas (Römer et al., 2012), costos de inversión para la adopción a la red y su mantenimiento (Depuru, Wang, Devabhaktuni & Gudi, 2011), así como la falta de una regulación para la adopción (Duque, Plata & Pinto, 2018).

Blockchain funciona como una base de datos que permite registrar transacciones sin intermediarios en tiempo real permitiendo establecer un orden cronológico de la información (Andoni, Robu, Flynn, Abram, Geach, Jenkins, McCallum & Peacock, 2019; Imbault, Swiatek, De Beaufort & Plana, 2017). Sistema que se convierte en una opción viable para la brindar la interacción de los prosumidores y dispositivos inteligentes en tiempo real, conllevando a un funcionamiento más eficiente de los recursos distribuidos acompañado de la complementariedad de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), además de permitir beneficios mediante esta descentralización como la tolerancia a fallas, la resistencia al ataque y, de esta manera, poder evitar problemas de colusiones y fijaciones de precios. La adopción de este sistema de información requiere un marco regulatorio que posibilite su implementación, modelos de negocios económicos donde se tenga en cuenta los prosumidores, además de la existencia de tipos de redes específicas para el funcionamiento de esta tecnología (Ahl, Yarime, Tanaka & Sagawa, 2019).

El almacenamiento de la energía es la transformación de la energía eléctrica a otra forma de energía para un uso futuro de esta, permitiendo así un cambio entre el consumo y la generación de

manera temporal (Toledo, Oliveira Filho & Diniz, 2010; Wilson & Hughes, 2014). El uso del almacenamiento conjunto a la GD permite una mejor confiabilidad del sistema conjunto, reduciendo los costos de generación y las pérdidas en la distribución (Leithon, Werner & Koivunen, 2020; Mehigan et al., 2018). Para la implementación de esta tecnología se debe tener en cuenta principalmente el costo de la inversión, ya que se encuentra ligado a altas tarifas que mitigan el desarrollo para la implementación, terminando atado a barreras regulatorias con el fin de buscar incentivos para su adopción (Burger & Luke, 2017; Kalkbrenner, 2019). Sin embargo, los costos relacionados al almacenamiento han tenido tendencias a la baja, disminuyendo 79% del 2010 al 2017, y se espera que este valor para el 2030 disminuya un 67% comparado con el valor del 2017, permitiendo así una mayor difusión (BloombergNEF, 2018), y además, demostrando que los costos de las tecnologías complementarias a la GD han tenido una disminución su costo en los últimos años.

El uso conjunto de los recursos energéticos distribuidos, conllevan a beneficios económicos y técnicos para la implementación de la GD (Gandhi, Rodríguez-Gallegos, Zhang, Srinivasan & Reindl, 2018; Pazouki & Haghifam, 2015a; Perez & Kagan, 2016). Además de un consumo más óptimo y eficiente por parte de los consumidores (Ochoa, González & Rodríguez, 2019). Se ha demostrado casos donde la adopción del uso de las tecnologías conjuntamente demuestran mejores resultados en la implementación de la GD (Ding, Decker, Vassileva, Wallin & Beigl, 2011; El-Khattam, Hegazy & Salama, 2005; Maciel, Campello, Silva, Borba, Fritz, Ferrerira, Zamboti & Correia, 2017; Poudineh & Jamasb, 2014). Por otro lado, se puede evidenciar que en algunos casos la falta de mitigación de barreras para la implementación de las tecnologías complementarias ha conllevado a que la GD no haya tenido un buen desarrollo, ya que la adopción de las tecnologías recae completamente sobre los generadores distribuidos (Miskinis et al., 2011; Roldán Zapata, 2014; Thornton & Monroy, 2011).

### ***5. Oportunidades y desafíos***

Conforme a los resultados previamente planteados, se puede evidenciar las oportunidades y desafíos que se presentan para llevar a cabo la implementación de la GD a nivel internacional, haciendo que los hacedores de políticas y las instituciones que participan en el mercado deban formular una estrategia que incluya tanto el marco regulatorio, como la reestructuración del mercado. Sin embargo, economías como Alemania, Reino Unido, Australia y algunos mercados de Estados Unidos han demostrado que la realización de una buena estrategia, proporciona una gran oportunidad para el aumento de la capacidad instalada con FNCER a partir de la GD. Otras economías han presentado estrategias importantes para la adopción de la GD, no obstante, estas estrategias no abarcan en conjunto las temáticas anteriormente mencionadas y, por tanto, el proceso de adopción de estas fuentes no ha contado con los avances esperados.

Es importante resaltar la visión de los entes institucionales respecto al papel que deben desempeñar dados los cambios disruptivos presentados en esta industria, donde el regulador más que establecer muchas normas (regular más) debe focalizarse a determinar los principios claros que ayuden a una prestación eficiente del servicio con una intervención mínima de regulación para incentivar la competencia y que simultáneamente no impida indebidamente el surgimiento de nuevos agentes y modelos de negocios en el mercado, que son a largo plazo el interés de los consumidores y los nuevos agentes.

Uno de los principales desafíos que han enfrentado en los mercados analizados consiste en rediseñar la estructura de la fórmula tarifaria que permita la complementariedad de un mercado

centralizado con uno distribuido que permita recuperar los costos de toda la cadena para la prestación del servicio. Este tema es objeto de investigaciones profundas que permitan evidenciar qué otros componentes deben incluirse a la fórmula tarifaria con el objetivo de propiciar la entrada de nuevos agentes y evitar la “espiral de la muerte”. Pues altos niveles de autoconsumo y GD pueden impactar negativamente a las empresas de distribución, por ejemplo, la recuperación de los costos fijos de la red. Pero ello no debe enfrentarse limitando al consumidor o los tiempos de compensación entre inyecciones y retiros a la red.

Las barreras identificadas a nivel internacional no son ajenas en el mercado eléctrico en Colombia, ya que a pesar de que la Ley 1715 de 2014 junto con la Resolución CREG 030 de 2018 regulan las actividades de autogeneración a pequeña y gran escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y la Resolución CREG 038 de 2018 determina las reglas para la actividad de autogeneración en las Zonas No Interconectadas (ZNI), aún se perciben barreras que dificultan la entrada de estas tecnologías (Barrera, Escobar, Manguashca & Rudni, 2020; Batlle, Rodilla & Barroso, 2020; Corredor, Helman, Jara & Wolak, 2020; Romero-grass et al., 2019).

A continuación, se mencionan algunas estrategias que pueden ayudar a mitigar los desafíos para la adopción de la GD en Colombia:

- Contar con un marco regulatorio claro y estable donde se tengan en cuenta las reglas para todos los agentes, simultáneamente a la incorporación de procesos fáciles y dinámicos que permitan agilizar los procesos para la solicitud y el desarrollo de los proyectos y, además, contar con el acompañamiento y apoyo institucional para todos los agentes del mercado tanto los centralizados como los distribuidos.
- Establecer incentivos fiscales y créditos financieros para el apalancamiento de los nuevos proyectos, lo cual permita incentivar la inversión en GD.
- Realizar una reestructuración del mercado teniendo en cuenta la inclusión de los nuevos agentes, como prosumidores y operadores de red distribuidos, y las tecnologías complementarias a la GD, teniendo en cuenta la entrega de excedentes de la GD al sistema y, además, las necesidades específicas para el desarrollo de estas tecnologías.

En cuanto a las oportunidades, a pesar de que las instituciones del sector eléctrico colombiano en cabeza del Ministerio de Minas y Energía, la UPME, el Operador del mercado y la CREG, no solamente tienen la voluntad política, sino que se han venido gestionando procesos para la implementación de la GD, de acuerdo a los avances que se presentaron en el numeral 5, nos encontramos en un momento crucial, donde la celeridad y la resiliencia son fundamentales, en el que simultáneamente se percibe el compromiso y la disposición por parte de los empresarios para afrontar los retos que implica la adopción de estas nuevas tecnologías, incluida la generación distribuida, pero al mismo tiempo en los foros de discusión donde participamos las instituciones, las empresas y los académicos, estos han sido bastante enfáticos en que están dispuestos a realizar las inversiones necesarias para la adopción de estas nuevas tecnologías, pero hacen alusión a que las instituciones deben ser un canal facilitador para propiciar las señales claras que permitan el surgimiento de los nuevos modelos de negocios.

### ***Agradecimientos***

Los autores agradecen a la Universidad EAFIT por apoyar esta investigación a través de la financiación del proyecto 828-000134. Esta investigación también fue desarrollada en el marco

del programa “ENERGÉTICA 2030” con el código 58864 de la iniciativa “Colombia Científica”, el cual fue financiado por el Banco Mundial a través de la convocatoria “778-2017 Ecosistemas Científicos” y administrado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación - MinCiencias.

## **Referencias**

- Abdmouleh, Z., Gastli, A., Ben-Brahim, L., Haouari, M., & Al-Emadi, N. A. (2017). Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources. *Renewable Energy*, *113*, 266–280. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.087>
- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation : a definition. *Electric Power Systems Research*, *57*(3), 195–204.
- Ahl, A., Yarime, M., Tanaka, K., & Sagawa, D. (2019). Review of blockchain-based distributed energy: Implications for institutional development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *107*, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.002>
- Albadi, M. H., & El-Saadany, E. F. (2007). Demand response in electricity markets: An overview. In *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PES.2007.385728>
- Allen, S. R., Hammond, G. P., & McManus, M. C. (2008). Prospects for and barriers to domestic micro-generation: A United Kingdom perspective. *Applied Energy*, *85*(6), 528–544. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.09.006>
- Alqahtani, B. J., & Patiño-Echeverri, D. (2019). Combined effects of policies to increase energy efficiency and distributed solar generation: A case study of the Carolinas. *Energy Policy*, *134*. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110936>
- Alsokhiry, F., & Lo, K. L. (2013). Effect of distributed generations based on renewable energy on the transient fault - Ride through. *Proceedings of 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2013, October*, 1102–1106. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2013.6749917>
- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *100*(November 2018), 143–174. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>
- Arias, V. R. I., Ardila, R., & Ruiz, J. (2006). Distributed generation: Regulatory and commercial aspects. *2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, TDC'06*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/TDCLA.2006.311379>
- Baatz, B., Relf, G., & Nowak, S. (2018). The role of energy efficiency in a distributed energy future. *The Electricity Journal*, *31*(10), 13–16. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2018.11.004>
- Babayomi, O., Babatunde, O., & Okharedia, T. (2018). Sustainability of Distributed Generation in a Reconfigured Distribution Network. *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018*, 619–622. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2018.8521031>
- Balaguera, D. A., Cortes, A. F., & Uruena, M. A. (2012). Distributed generation scheme analysis, as an option for Bogota electrical system. *2012 IEEE International Symposium on Alternative Energies and Energy Quality, SIFAE 2012 - Conference Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SIFAE.2012.6478889>
- Barrera, F., Escobar, A., Manguashca, M., & Rudni, H. (2020). Documento Foco 5: Institucional y Regulatorio. *Misión Para La Transformación Energética*, 1–36.



- Basak, P., Chowdhury, S., Nee Dey, S. H., & Chowdhury, S. P. (2012). A literature review on integration of distributed energy resources in the perspective of control, protection and stability of microgrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5545–5556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.043>
- Batlle, C., Rodilla, P., & Barroso, L. A. (2020). Foco 3 Hoja de ruta regulatoria para un desarrollo más eficiente de los recursos distribuidos. *Misión Para La Transformación Energética*, 1–65.
- Bayod-Rújula, A. A. (2009). Future development of the electricity systems with distributed generation. *Energy*, 34(3), 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.12.008>
- Beck, F., & Martinot, E. (2016). *Renewable Energy Policies and Barriers*. 1–22.
- Bellido, M. H., Rosa, L. P., Pereira, A. O., Falcão, D. M., & Ribeiro, S. K. (2018). Barriers, challenges and opportunities for microgrid implementation: The case of Federal University of Rio de Janeiro. *Journal of Cleaner Production*, 188, 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.012>
- BloombergNEF. (2018). *New Energy Outlook 2018*.
- Borne, O., Petit, M., & Perez, Y. (2016). Provision of frequency-regulation reserves by distributed energy resources : Best practices and barriers to entry. *2016 13th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/EEM.2016.7521215>
- Botero, J. G., Arbelaez, J. C., & Garcia, J. J. (2019). Transición energética en Reino Unido para la integración de fuentes no convencionales de energía y redes inteligentes. *Working paper 362*. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/15402>
- Burger, S. P., & Luke, M. (2017). Business models for distributed energy resources: A review and empirical analysis. *Energy Policy*, 109, 230–248. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.007>
- Cambini, C., & Soroush, G. (2019). Designing grid tariffs in the presence of distributed generation. *Utilities Policy*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100979>
- Carley, S. (2009). Distributed generation : An empirical analysis of primary motivators. *Energy Police*, 37(5), 1648–1659. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.01.003>
- Carrasco-Díaz, M., Rivas, D., Orozco-Contreras, M., & Sánchez-Montante, O. (2015). An assessment of wind power potential along the coast of Tamaulipas, northeastern Mexico. *Renewable Energy*, 78, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.007>
- Chiradeja, P., & Ramakumar, R. (2004). An approach to quantify the technical benefits of distributed generation. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19(4), 764–773. <https://doi.org/10.1109/TEC.2004.827704>
- Colmenar-Santos, A., Reino-Rio, C., Borge-Diez, D., & Collado-Fernández, E. (2016). Distributed generation: A review of factors that can contribute most to achieve a scenario of DG units embedded in the new distribution networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1130–1148. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.023>
- Corredor, P., Helman, U., Jara, D., & Wolak, F. A. (2020). Foco 1 – Competencia , participación y estructura del mercado eléctrico. *Misión Para La Transformación Energética*, 1–84.
- Craig, M. T., Jaramillo, P., Hodge, B.-M., Williams, N. J., & Severnini, E. (2018). A retrospective analysis of the market price response to distributed photovoltaic generation in California. *Energy Policy*, 121, 394–403. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.061>
- da Silva, P. P., Dantas, G., Pereira, G. I., Câmara, L., & De Castro, N. J. (2019). Photovoltaic distributed generation – An international review on diffusion, support policies, and

- electricity sector regulatory adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.028>
- Dang, K., Yu, J., Dang, T., & Han, B. (2011). Benefit of distributed generation on line loss reduction. *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, ICECE 2011 - Proceedings*, 2042–2045. <https://doi.org/10.1109/ICECENG.2011.6057911>
- Depuru, S. S. S. R., Wang, L., Devabhaktuni, V., & Gudi, N. (2011). Smart meters for power grid - Challenges, issues, advantages and status. *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2011*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/PSCE.2011.5772451>
- Ding, Y., Decker, C., Vassileva, I., Wallin, F., & Beigl, M. (2011). A Smart Energy system: Distributed resource management, control and optimization. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2011.6162720>
- Diógenes, J. R. F., Rodrigues, J. C., Diógenes, M. C. F., & Claro, J. (2020). Overcoming barriers to onshore wind farm implementation in Brazil. *Energy Policy*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111165>
- Dong, J., Feng, T. T., Sun, H. X., Cai, H. X., Li, R., & Yang, Y. (2016). Clean distributed generation in China: Policy options and international experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 753–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.171>
- Driesen, J., & Belmans, R. (2006). Distributed generation: Challenges and possible solutions. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, 8 pp. <https://doi.org/10.1109/pes.2006.1709099>
- Dulau, L. I. (2015). Optimization of a power system with distributed generation source. *2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, ATEE 2015*, 903–906. <https://doi.org/10.1109/ATEE.2015.7133930>
- Dulau, L. I., Abrudean, M., & Bica, D. (2014). Automation of a distributed generation system. *Proceedings of the Universities Power Engineering Conference*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2014.6934734>
- Dulau, L. I., & Bica, D. (2015). Optimization of a power system with distributed generation sources. *2015 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, EMES 2015*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EMES.2015.7158394>
- Duque, A. P., Plata, G. O., & Pinto, G. A. O. (2018). Proposal for Advanced Metering Infrastructure in Distribution Systems with Generation Distributed in Low Voltage Electrical Networks. *In 2018 IEEE ANDESCON*, 1–6.
- Duque, C., Marmolejo, E. F., & de Torres, M. T. R. (2004). Análisis de prospectiva de la generación distribuida (GD) en el sector eléctrico colombiano. *Revista de Ingeniería*, (19), 81–89. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.16924%2Fria.v0i19.442>
- El-Khattam, W., & Salama, M. M. . (2004). Distributed generation technologies, definitions and benefits. *Electric Power Systems Research*, 71(2), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2004.01.006>
- El-Khattam, Walid, Hegazy, Y. G., & Salama, M. M. A. (2005). An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning. *2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 3(2), 2392. <https://doi.org/10.1109/pes.2005.1489232>
- Gandhi, O., Rodríguez-Gallegos, C. D., Zhang, W., Srinivasan, D., & Reindl, T. (2018). Economic and technical analysis of reactive power provision from distributed energy resources in microgrids. *Applied Energy*, 210, 827–841.

- <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.154>
- Garcez, C. G. (2017). Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact. *Utilities Policy*, 49, 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.06.005>
- Garlet, T. B., Ribeiro, J. L. D., de Souza Savian, F., & Siluk, J. C. M. (2019). Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>
- Gebreslassie, M. G. (2020). Public perception and policy implications towards the development of new wind farms in Ethiopia. *Energy Policy*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111318>
- Georgilakis, P. S., & Hatziargyriou, N. D. (2013). Optimal distributed generation placement in power distribution networks: Models, methods, and future research. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(3), 3420–3428. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2237043>
- Gómez-Navarro, T., & Ribó-Pérez, D. (2018). Assessing the obstacles to the participation of renewable energy sources in the electricity market of Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.015>
- Gómez, V. A., Hernández, C., & Rivas, E. (2018). La Influencia de los Niveles de Penetración de la Generación Distribuida en los Mercados Energéticos. *Información Tecnológica*, 29(1), 117–128.
- Gui, E. M., Diesendorf, M., & MacGill, I. (2017). Distributed energy infrastructure paradigm: Community microgrids in a new institutional economics context. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1355–1365. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.047>
- Gujar, M., Datta, A., & Mohanty, P. (2013). Smart Mini Grid: An innovative distributed generation based energy system. *2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT Asia 2013*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2013.6698768>
- Hancevic, P. I., Nuñez, H. M., & Rosellon, J. (2017). Distributed photovoltaic power generation : Possibilities , bene fi ts , and challenges for a widespread application in the Mexican residential sector. *Energy Policy*, 110, 478–489. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.046>
- Hansen, K., Mathiesen, B. V., & Skov, I. R. (2019). Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.038>
- Heideier, R., Bajay, S. V., Jannuzzi, G. M., Gomes, R. D. M., Guanais, L., Ribeiro, I., & Paccola, A. (2020). Impacts of photovoltaic distributed generation and energy ef fi ciency measures on the electricity market of three representative Brazilian distribution utilities. *Energy for Sustainable Development*, 54, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.10.007>
- Hernandez, J. A., Velasco, D., & Trujillo, C. L. (2011). Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2290–2298. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.003>
- Hernando-Gil, I., Ilie, I. S., Collin, A. J., Acosta, J. L., & Djokic, S. Z. (2012). Impact of DG and energy storage on distribution network reliability: A comparative analysis. *2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition, ENERGYCON 2012*, 605–611. <https://doi.org/10.1109/EnergyCon.2012.6348224>
- Hidayat, M. N., & Li, F. (2013). Impact of Distributed Generation technologies on generation curtailment. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PESMG.2013.6672607>

- Hongkai, L., Chenghong, X., Jinghui, S., & Yuexi, Y. (2008). Green power generation technology for distributed power supply. *2008 China International Conference on Electricity Distribution, CIGRE 2008*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CIGRE.2008.5211704>
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2018). Evolution of photovoltaic business models: Overcoming the main barriers of distributed energy deployment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *90*, 623–635. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.101>
- IEA. (2019). *World Energy Outlook - Executive Summary*. <https://doi.org/10.6027/9789289329996-1-en>
- IEA. (2020). *Introduction to System Integration of Renewables*. <https://www.iea.org/reports/introduction-to-system-integration-of-renewables>
- Imbault, F., Swiatek, M., De Beaufort, R., & Plana, R. (2017). The green blockchain: Managing decentralized energy production and consumption. *Conference Proceedings - 2017 17th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 1st IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC / I and CPS Europe 2017*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2017.7977613>
- IRENA. (2019). Renewable Energy Auctions: Status and Trends Beyond Price. Available: <https://www.irena.org/publications/2019/Dec/Renewable-energy-auctions-Status-and-trends-beyond-price>
- Jun-Fang, Z., Si-Min, D., Yin-Li, H., & Guang, H. (2009). Research on distributed generation source placement. *1st International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN '09*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SUPERGEN.2009.5347869>
- Kakran, S., & Chanana, S. (2018). Smart operations of smart grids integrated with distributed generation : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, 524–535. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.045>
- Kalkbrenner, B. J. (2019). Residential vs. community battery storage systems – Consumer preferences in Germany. *Energy Policy*, *129*, 1355–1363. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.041>
- Kowalska-Pyzalska, A. (2018). What makes consumers adopt to innovative energy services in the energy market? A review of incentives and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 3570–3581. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.103>
- Krauter, S. (2018). Simple and effective methods to match photovoltaic power generation to the grid load profile for a PV based energy system. *Solar Energy*, *159*, 768–776. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.11.039>
- Lai, L. L., Chan, S. W., Lee, P. K., & Lai, C. S. (2011). Challenges to implementing distributed generation in area electric power system. *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 797–801. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2011.6083750>
- Leão, R. P. S., Barroso, G. C., Sampaio, R. F., Almada, J. B., Lima, C. F. P., Rego, M. C. O., & Antunes, F. L. M. (2011). The future of low voltage networks: Moving from passive to active. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *33*(8), 1506–1512. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.06.036>
- Leithon, J., Werner, S., & Koivunen, V. (2020). Cost-aware renewable energy management: Centralized vs. distributed generation. *Renewable Energy*, *147*, 1164–1179. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.077>
- Liu, J., Wang, R., Sun, Y., Lin, Y., & Xiao, L. (2013). A barrier analysis for the development of distributed energy in China: A case study in Fujian province. *Energy Policy*, *60*, 262–271.

- <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.024>
- Liu, Y., Li, Y., & Zhao, D. (2014). Research on influencing factors of distributed generation system. *China International Conference on Electricity Distribution, CIGRE, 2014-Decem(Ciced)*, 1357–1362. <https://doi.org/10.1109/CIGRE.2014.6991928>
- Londero, R. R., Affonso, C. M., & Nunes, M. V. A. (2009). Impact of distributed generation in steady state, voltage and transient stability-real case. *2009 IEEE Bucharest PowerTech: Innovative Ideas Toward the Electrical Grid of the Future*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PTC.2009.5282016>
- Lopes, J. A. P., Hatziargyriou, N., Mutale, J., Djapic, P., & Jenkins, N. (2007). Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities. *Electric Power Systems Research*, 77(9), 1189–1203. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.08.016>
- Ma, C., Dasenbrock, J., Töbermann, J. C., & Braun, M. (2019). A novel indicator for evaluation of the impact of distributed generations on the energy losses of low voltage distribution grids. *Applied Energy*, 242(November 2018), 674–683. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.090>
- Maciel, R., Campello, T., Silva, M., Borba, B., Fritz, L., Ferreira, V., Zamboti, M., & Correia, W. (2017). DG impact evaluation on LV distribution grids using AMI data: a Brazilian case study. *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, 2017(1), 1699–1702. <https://doi.org/10.1049/oap-cired.2017.1284>
- Mahmoud, K., & Yorino, N. (2016). Optimal combination of DG technologies in distribution systems. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, 2016-Janua*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2015.7381009>
- Mateo, C., Frías, P., Cossent, R., Sonvilla, P., & Barth, B. (2017). Overcoming the barriers that hamper a large-scale integration of solar photovoltaic power generation in European distribution grids. *Solar Energy*, 153, 574–583. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.008>
- Mehigan, L., Deane, J. P., Gallachóir, B. P. Ó., & Bertsch, V. (2018). A review of the role of distributed generation (DG) in future electricity systems. *Energy*, 163, 822–836. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.022>
- Menanteau, P. (2004). Liberalisation of the electricity sector and development of distributed generation: Germany, United Kingdom and France. *Energy and Environment*, 15(2), 239–248. <https://doi.org/10.1260/095830504323153432>
- Mer, D. K., & Patel, R. R. (2016). The concept of distributed generation & the effects of its placement in distribution network. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016*, 3965–3969. <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755458>
- Miller, M. T., Johns, M. B., Sortomme, E., & Venkata, S. S. (2012). Advanced integration of distributed energy resources. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2012.6345573>
- Mills, L., & Byrne, J. (2015). Global trends in clean energy investment. *Bloomberg New Energy Finance*, 5.
- Miskinis, V., Norvaisa, E., Galinis, A., & Konstantinaviciute, I. (2011). Trends of distributed generation development in Lithuania. *Energy Policy*, 39(8), 4656–4663. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.022>
- Mukhopadhyay, S., & Singh, B. (2009). Distributed generation - Basic policy, perspective

- planning, and achievement so far in India. *2009 IEEE Power and Energy Society General Meeting, PES '09*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/PES.2009.5275741>
- Naghizadeh, R., Afrakhte, H., & Ziapour, M. (2018). Smart Distribution Network Reconfiguration Based on Optimal Planning of Distributed Generation Resources Using Teaching Learning Based Algorithm to Reduce Generation Costs, Losses and Improve Reliability. *26th Iranian Conference on Electrical Engineering, ICEE 2018*, 1125–1131. <https://doi.org/10.1109/ICEE.2018.8472451>
- Nazari, M. H., & Ilic, M. (2010). Potential for efficiency improvement of future electric energy systems with distributed generation units. *In IEEE PES General Meeting*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/PES.2010.5589994>
- Nelson, T., McCracken-Hewson, E., Whish-Wilson, P., & Bashir, S. (2018). Price dispersion in Australian retail electricity markets. *Energy Economics*, *70*, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.12.026>
- Nieto, A. (2016). Optimizing prices for small-scale distributed generation resources: A review of principles and design elements. *Electricity Journal*, *29*(3), 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2016.03.004>
- North, D. C. (1991). Institutions. *Journal of Economic Perspectives*, *5*(1), 97–112.
- Ochoa, D. S., González, E. P., & Rodríguez, R. C. (2019). Characterization of the demand for electric energy considering the integration of distributed energy resources. *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference - Living the Energy Transition, FISE/CIGRE 2019*, 1. <https://doi.org/10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984998>
- Palomares-Morón, P., Vásquez, D., Escudero-Atehortua, A., & Toro, M. (2019). Distributed generation : An inventory of installed capacity in Colombia through 2019. *In 2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference-Living the Energy Transition (FISE/CIGRE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FISECIGRE48012.2019.8985021>
- Patiño, D. E., Correa Giraldo, M., & Garcia, J. J. (2019). Integración de fuentes de energías renovables no convencionales y redes inteligentes en Estados Unidos: evidencia para PJM. *Working paper 362 CIEF*. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/15399>
- Pazouki, S., & Haghifam, M. R. (2015a). Economic and technical influences of distributed energy resources in smart energy hubs. *Smart Grid Conference, SGC 2015, Sgc*, 47–52. <https://doi.org/10.1109/SGC.2015.7857389>
- Pazouki, S., & Haghifam, M. R. (2015b). Effect of distributed energy resources on load and loss factors of energy distribution networks. *20th Electrical Power Distribution Conference, EPDC 2015, April*, 107–112. <https://doi.org/10.1109/EPDC.2015.7330481>
- Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2005). Distributed generation : definition , benefits and issues \$. *Energy Policy*, *33*(6), 787–798. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.004>
- Perera, P. (2016). Constraints and Barriers to Deployment of Distributed Energy Systems and Micro Grids in Southern China. *Energy Procedia*, *103*, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.273>
- Perez, G. A., & Kagan, N. (2016). Integration of distributed generation in power distribution networks and its structure as an intelligent generation system. *In 2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/isgt-la.2015.7568656>
- Picciariello, A., Reneses, J., Frias, P., & Söder, L. (2015). Distributed generation and distribution pricing: Why do we need new tariff design methodologies?. *Electric Power Systems*

- Research*, 119, 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2014.10.021>
- Picciariello, A., Vergara, C., Reneses, J., Frias, P., & Söder, L. (2015). Electricity distribution tariffs and distributed generation : Quantifying cross-subsidies from consumers to prosumers. *Utilities Policy*, 37, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.09.007>
- Poplavskaya, K., & de Vries, L. (2019). Distributed energy resources and the organized balancing market: A symbiosis yet? Case of three European balancing markets. *Energy Policy*, 126, 264–276. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.009>
- Poudineh, R., & Jamasb, T. (2014). Distributed Generation, Storage, Demand Response and Energy Efficiency as Alternatives to Grid Capacity Enhancement. *Energy Policy*, 67, 222–231.
- Pupo-Roncillo, O., Campillo, J., Ingham, D., Hughes, K., & Pourkashanian, M. (2019). Large scale integration of renewable energy sources (RES) in the future Colombian energy system. *Energy*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.135>
- Quintero, S. X. C., & Jiménez, J. D. M. (2013). Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano : un enfoque dinámico. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando El Conocimiento*, 17(35), 77–89.
- Razavi, S. E., Rahimi, E., Javadi, M. S., Nezhad, A. E., Lotfi, M., Shafie-khah, M., & Catalão, J. P. S. (2019). Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.050>
- Rehmani, M. H., Reisslein, M., Rachedi, A., Erol-Kantarci, M., & Radenkovic, M. (2018). Integrating Renewable Energy Resources into the Smart Grid: Recent Developments in Information and Communication Technologies. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(7), 2814–2825. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2819169>
- Richter, M. (2013). German utilities and distributed PV : How to overcome barriers to business model innovation. *Renewable Energy*, 55, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.052>
- Roberts, M. B., Bruce, A., & MacGill, I. (2018). Collective Prosumerism. *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2018.8398770>
- Rodríguez Nieto, M. J., & Veléz Cataño, L. (2019). *Economic opportunities of AMI implementation: A review*. Universidad EAFIT.
- Rodríguez, Y. G., & Guerrero, F. A. T. (2013). Smart grids y generación distribuida en colombia. *Revista Vínculos*, 10(2), 303–310. <https://doi.org/10.14483/2322939X.6517>
- Roldán-Blay, C., Escrivá-Escrivá, G., & Roldán-Porta, C. (2019). Improving the benefits of demand response participation in facilities with distributed energy resources. *Energy*, 169, 710–718. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.102>
- Roldán Zapata, P. M. (2014). *Barreras técnicas en las redes de transmisión eléctrica colombianas que dificultan la evolución a redes eléctricas inteligentes*. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín.
- Römer, B., Reichhart, P., Kranz, J., & Picot, A. (2012). The role of smart metering and decentralized electricity storage for smart grids: The importance of positive externalities. *Energy Policy*, 50, 486–495. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.047>
- Romero-grass, A., Mach, T., Guzmán, S., Velásquez, M. A., & Zambrano, Á. (2019). Foco 3 - Fase I : Descentralización y Digitalización de la Industria y la Gestión Eficiente de la Demanda. *Misión Para La Transformación Energética*.

- <https://www.minenergia.gov.co/en/foros?idForo=24169153>
- Ropenus, S., & Skytte, K. (2005). Regulatory Review and Barriers for the Electricity Supply System for Distributed Generation in EU-15. *In 2005 International Conference on Future Power Systems*, 1–6.
- Rosales-Asensio, E., de Simón-Martín, M., Borge-Diez, D., Pérez-Hoyos, A., & Santos, A. C. (2019). An expert judgement approach to determine measures to remove institutional barriers and economic non-market failures that restrict photovoltaic self-consumption deployment in Spain. *Solar Energy*, *180*, 307–323. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.031>
- Secretaría de Energía. (2008). La Introducción a La Generación Distribuida de Energías Renovables. *British Journal of Cancer*. <http://www.revista.unam.mx/vol.7/num7/art55/int55.htm>
- Sharma, D., & Bartels, R. (1997). Distributed Electricity Generation in Competitive Energy Markets: A Case Study in Australia. *The Energy Journal*, *18*, 17–40. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol18-NoSI-2>
- Singh, A. K., & Parida, S. K. (2018). A review on distributed generation allocation and planning in deregulated electricity market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 4132–4141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.060>
- Skariah, E. N., Thomas, P., & Manikuttan, V. (2017). Impact of DG on Locational Marginal Price Under Multi Constrained Environment. *In 2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 1–7.
- Soshinskaya, M., Crijns-Graus, W. H. J., Guerrero, J. M., & Vasquez, J. C. (2014). Microgrids: Experiences, barriers and success factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *40*, 659–672. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.198>
- Strbac, G. (2006). Technical and commercial integration of Distributed Generation: Review of recent developments in the UK. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, 1 pp. <https://doi.org/10.1109/pes.2006.1709579>
- Szatow, A., Quezada, G., & Lilley, B. (2012). New light on an old problem: Reflections on barriers and enablers of distributed energy. *Energy Policy*, *43*, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.057>
- Tan, K. T., Peng, X. Y., So, P. L., Chu, Y. C., & Chen, M. Z. (2012). Centralized Control for Parallel Operation of Distributed Generation Inverters in Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *3*(4), 1977–1987.
- Tarui, N. (2017). Electric utility regulation under enhanced renewable energy integration and distributed generation. *Environmental Economics and Policy Studies*, *19*(3), 503–518. <https://doi.org/10.1007/s10018-017-0183-8>
- Tecnalia, L. (2007). Guía Básica de la Generación Distribuida. *Fund. La Energía La Comunidad Madrid*.
- Thornton, A., & Monroy, C. R. (2011). Distributed power generation in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(9), 4809–4817. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.070>
- Toledo, O. M., Oliveira Filho, D., & Diniz, A. S. A. C. (2010). Distributed photovoltaic generation and energy storage systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(1), 506–511. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.007>
- Venkataramanan, G., & Marnay, C. (2008). A Large Role for Microgrids. *IEEE Power and Energy Magazine*, *6*(3), 78–82.



- Viana, M. S., Junior, G. M., & Udaeta, M. E. (2018). Analysis of demand response and photovoltaic distributed generation as resources for power utility planning. *Applied Energy*, 217, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.153>
- Vogel, P. (2009). Efficient investment signals for distributed generation. *Energy Policy*, 37(9), 3665–3672. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.053>
- Walling, R. A., Saint, R., Dugan, R. C., Burke, J., & Kojovic, L. A. (2008). Summary of distributed resources impact on power delivery systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(3), 1636–1644. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.909115>
- Wang, Y., Huang, Y., Wang, Y., Zeng, M., Li, F., Wang, Y., & Zhang, Y. (2018). Energy management of smart micro-grid with response loads and distributed generation considering demand response. *Journal of Cleaner Production*, 197, 1069–1083. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.271>
- Wilson, D., & Hughes, L. (2014). Barriers to the Development of Electrical Energy Storage: A North American Perspective. *The Electricity Journal*, 27(2), 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2014.01.009>
- Wohlfarth, K., Worrell, E., & Eichhammer, W. (2020). Energy efficiency and demand response – two sides of the same coin?. *Energy Policy*, 137(October 2019), 111070. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111070>
- WWF, ECOFYS, & OMA. (2011). *The Energy Report: 100% Renewable energy by 2050*. <https://doi.org/10.1007/bfb0087305>
- Xiaoqun, D., Jiahong, W., & Feng, Z. (2009). Optimal location and capacity of distributed generation based on Scenario Probability. *1st International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN '09*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SUPERGEN.2009.5348224>
- Yang, Y., Zhang, S., & Xiao, Y. (2017). Optimal design of distributed energy resource systems based on two-stage stochastic programming. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1358–1370. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.049>
- Zhang, F., Deng, H., Margolis, R., & Su, J. (2015). Analysis of distributed-generation photovoltaic deployment, installation time and cost, market barriers, and policies in China. *Energy Policy*, 81, 43–55. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.010>
- Zhang, L., Gari, N., & Hmurcik, L. V. (2014). Energy management in a microgrid with distributed energy resources. *Energy Conversion and Management*, 78, 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.065>