El valor de los recursos distribuidos frente a los centralizados



José Pablo Chaves Avila
Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas



Tomás Gómez San Román
Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas



Pedro Linares
Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas

Resumen
Este artículo caracteriza los distintos recursos distribuidos que se están instalando en los sistemas eléctricos, los servicios que estos recursos proveen y analiza cuál es el origen de su valor frente a los recursos centralizados. El artículo identifica y cuantifica los costes y beneficios involucrados en la prestación de servicios para determinar el valor neto de los recursos distribuidos para los sistemas eléctricos.

Palabras clave
Recursos distribuidos, eficiencia económica, servicios eléctricos, generación distribuida, gestión de la demanda

Abstract
This paper describes the distributed resources that are being currently deployed in the electric systems, the services these resources provide and the origin of the value of these resources in contrast with centralized resources. The paper also describes de trade-offs between the costs and benefits necessary to determine the net value that distributed resources provide to the electric systems.

Keywords
Distribued resources, economic efficiency, electricity services, distributed generation, demand response

1. Los recursos distribuidos como parte de los elementos de cambio del sistema eléctrico

El sector eléctrico se está enfrentando a una serie de retos y transformaciones sin precedentes. Por un lado, la necesidad de descarbonizar el sector como parte de los esfuerzos de mitigación del cambio climático. Por otro lado, la interrelación cada vez mayor entre las redes eléctricas y otras infraestructuras críticas como las telecomunicaciones, el transporte y las redes de gas natural. Al mismo tiempo, los consumidores eléctricos, mediante el uso de recursos energéticos distribuidos, tienen ahora más alternativas para satisfacer sus necesidades energéticas, controlar su consumo e incluso proveer otros servicios adicionales a otros consumidores o al sistema eléctrico.

Los recursos distribuidos a los que nos referimos en este artículo incluyen mecanismos de gestión de la demanda, generación distribuida (solar fotovoltaica, eólica a pequeña escala, cogeneración, microturbinas de gas, etc.), tecnologías de almacenamiento de energía y sistemas de control. Estos recursos distribuidos están conectadas en las propias instalaciones de los consumidores o directamente conectados a las redes de distribución de energía eléctrica. Alemania es un caso emblemático de instalación de recursos distribuidos, específicamente paneles fotovoltaicos, principalmente motivado por el sistema de subsidios a las renovables que ha supuesto que el 98 % de estas instalaciones (cerca de 40 gigavatios) se hayan conectado en redes eléctricas de media y baja tensión y el 85 % de las instalaciones sean de capacidad instalada inferior a 1 megavatio (Fraunhofer ISE 2016). Esta situación también se observa en otros lugares, como en ciertos estados de Estados Unidos, por ejemplo, en Hawai uno de cada cinco consumidores, y en California uno de cada diez consumidores con casas unifamiliares tienen paneles fotovoltaicos en sus tejados (Utility Dive 2016; CSI 2016).

Algunos de estos recursos distribuidos, como los vehículos eléctricos, los sistemas de climatización o la capacidad de almacenamiento térmico de los edificios, se instalan y se utilizan, principalmente, para proveer servicios a los consumidores de movilidad o climatización y no para proveer servicios al sistema eléctrico. Otros recursos tales como los paneles solares o las baterías se instalan y se utilizan exclusivamente para proveer servicios eléctricos a los propios

consumidores o al sistema eléctrico. En aras a conseguir la eficiencia global, es necesario que ambos tipos de recursos puedan contribuir en la provisión de servicios eléctricos no solo para los consumidores propietarios de los mismos, sino también para el sistema eléctrico en su conjunto.

Bajo este escenario, los recursos distribuidos podrían entrar en competencia con los recursos centralizados (grandes centrales de generación o almacenamiento de energía conectadas a las redes de transporte de muy alta tensión), ya que ambos podrían proveer los mismos servicios al sistema. Por lo tanto, es importante entender dónde radica el valor de los recursos distribuidos frente a los centralizados, tanto para los propietarios de los recursos como para el sistema eléctrico, y si lo distribuido es más eficiente económicamente o no que lo centralizado. En muchos de los casos mencionados anteriormente el desarrollo de lo distribuido ha estado motivado por un sistema de subvenciones que no siempre se ha basado en un análisis técnico-económico riguroso. Algunos de los objetivos que persiguen ciertas políticas (por ejemplo, reducción de emisiones) se podrían haber conseguido a un menor coste con otras alternativas o tecnologías diferentes a las promocionadas, centralizadas o distribuidas.

Este artículo recoge en su mayoría las ideas expresadas en el capítulo 8 del informe del proyecto *Utility of the Future* (Pérez-Arriaga et al. 2016), realizado en colaboración entre el Instituto Tecnológico de Massachusetts y el Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas.

2. El valor de los recursos distribuidos

El valor de los recursos distribuidos puede clasificarse en dos tipos de beneficios. El primero son los beneficios que se generan cuando se proveen servicios a los consumidores o se dan servicios de apoyo al sistema eléctrico necesarios para su buen funcionamiento. El segundo son otros beneficios que van más allá del sistema eléctrico.

Además, los beneficios que aportan estos recursos tienen una componente geográfica y temporal, es decir, dependen del momento y lugar en el que se presten los servicios asociados. La componente geográfica o local, al estar conectados cerca de los consumidores, y a las redes de distribución, es lo que constituye su valor diferencial y de lo que carecen, por el contrario, los recursos centralizados.

La definición de los servicios que los recursos centralizados o distribuidos pueden proveer al sistema eléctrico podría ser controvertida porque existe una amplia gama de estos servicios que va desde servicios físicos, financieros, basados en la información, según los métodos de asignación de costes, etc. Sin embargo, los servicios descritos en este artículo intentan ser generalizables para la mayoría de contextos regulatorios, mercados y tecnologías.

El principal servicio eléctrico para el consumidor final es la energía eléctrica que se usa para distintos propósitos (iluminación, funcionamiento de aparatos eléctricos, etc.). La energía puede ser abastecida tanto mediante recursos distribuidos como mediante recursos centralizados, sin embargo hay otros servicios donde los recursos distribuidos aportan un valor diferencial. La tabla 1 resume los principales beneficios que aportan los recursos distribuidos, según los servicios que proveen y que se discutirán a continuación.

Primero se discutirá el valor que aportan los recursos distribuidos para el sistema eléctrico asociado a su ubicación, como la reducción de pérdidas óhmicas y congestiones en las redes eléctricas (por límites térmicos o tensión). Por

	Valor asociado a la ubicación	Valor independiente de la ubicación
Valor para el sistema eléctrico	Energía	Capacidad firme
	Margen de capacidad de redes	Reservas de potencia para control de frecuencia
	Calidad de suministro	Cobertura ante variabilidad del precio
	Fiabilidad y resiliencia	
Otros valores	Uso del espacio	Reducción de emisiones
	Empleos locales	Seguridad de suministro energético

Tabla 1. Clasificación del valor de los recursos distribuidos

ejemplo, al instalar generación distribuida en el mismo punto de conexión que la demanda los flujos por las redes pueden disminuir y con ellos las pérdidas asociadas al transporte de energía. Sin embargo, hay que recordar lo que se conoce como beneficios marginales decrecientes, esto es, cuanta más generación distribuida se instale, su beneficio en reducción de pérdidas suele ir disminuyendo y, en todo caso, dependerá de la alineación que exista entre el consumo y la generación. Si la generación supera el consumo y se exporta al resto del sistema, las pérdidas podrían volver a aumentar por el incremento de flujos en las redes. Siguiendo la misma lógica, el uso de recursos[1] distribuidos puede aliviar problemas de congestión en las redes cambiando su perfil de generación o consumo y, de esta manera, las inversiones en los activos de redes se podrían evitar o retrasar. De nuevo, este efecto depende del nivel de penetración de los recursos en las redes. En el caso de la generación distribuida y por los beneficios marginales decrecientes, inicialmente las inversiones en elementos de red necesarios para transportar energía y mantener la calidad del suministro se pueden evitar, pero si todos los consumidores en una determinada localidad empiezan a instalar generación distribuida, podría hacer falta inversión adicional en red para poder evacuar toda la energía que no se consume y exportarla al resto del sistema.

Además, los recursos distribuidos, al estar cerca de la demanda, pueden tener un valor en términos de mejoras en la calidad y fiabilidad del suministro eléctrico. Ante un posible corte de suministro, un generador local puede satisfacer la demanda local mejorando así la calidad del suministro. De igual manera, ante catástrofes naturales que provoquen caídas en el tendido eléctrico la generación local puede aumentar la resiliencia del sistema y suministrar a consumidores locales.

A modo de ejemplo, la figura 1 muestra el valor de los servicios proporcionados por la generación fotovoltaica en el área de Long Island, en Nueva York, donde la demanda eléctrica es elevada, la generación local es escasa y las conexiones eléctricas con el resto del sistema son limitadas. En este caso, como se puede observar, los beneficios alcanzan 84,7 $/MWh, un valor elevado. Sin embargo, Pérez-Arriaga et al. (2016) también reportan que en otra área del Estado de Nueva York este valor es 10 veces menor, de solo 7,9 $/MWh, mostrando así que el valor de los recursos distribuidos es muy dependiente de la ubicación, incluso dentro de un mismo sistema eléctrico.

Los recursos distribuidos pueden también proveer otros servicios al sistema eléctrico que no dependen de la ubicación del punto de conexión donde se intercambia energía con el sistema, como por ejemplo el servicio de reserva de potencia para controlar la frecuencia del sistema eléctrico ante desequilibrios instantáneos entre generación y

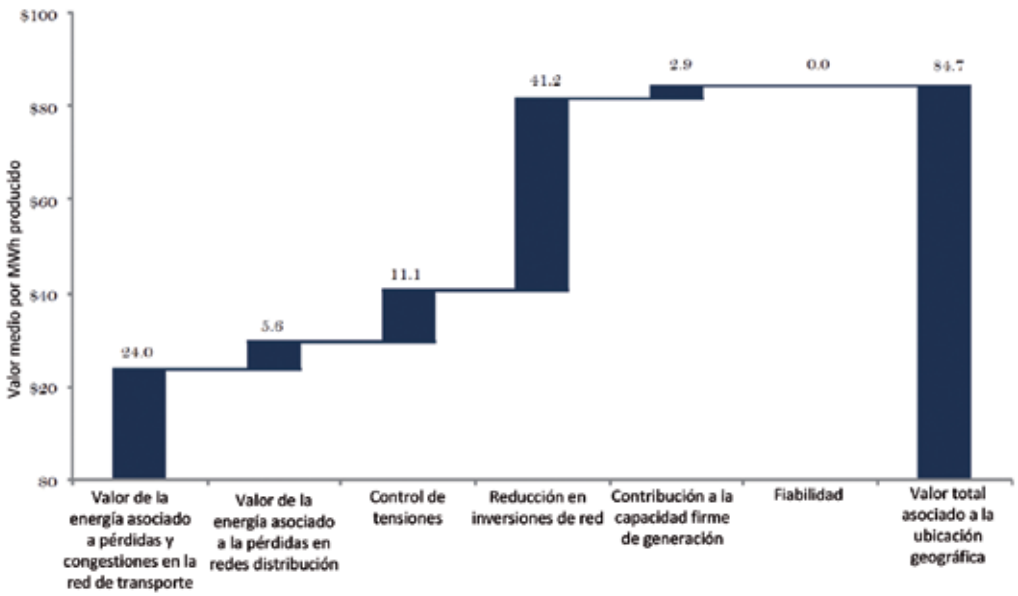


Fig. 1. Valor asociado a la ubicación de generación solar fotovoltaica en Long Island, Nueva York (ejemplo con valor elevado). Fuente: Pérez-Arriaga et al. (2016)

demanda. En esta misma línea, también, los recursos distribuidos pueden contribuir a asegurar capacidad firme de generación para hacer frente a eventos que amenacen la seguridad de suministro o servir como cobertura ante la variabilidad de los precios de la electricidad en los mercados mayoristas. Estos servicios tienen un valor que, por lo general, es igual para todo el sistema eléctrico interconectado, independientemente de la ubicación específica de los recursos distribuidos.

Como se muestra en la tabla 1, hay beneficios locales asociados a los recursos distribuidos que van más allá del sistema eléctrico. Por ejemplo, una posible mejora en el uso del espacio/terreno, principalmente en lugares donde el espacio es limitado o tiene mucho valor, como en las ciudades. Un claro ejemplo de este valor es la instalación de placas fotovoltaicas en los tejados. Adicionalmente, la instalación de recursos distribuidos también podría tener un efecto en aumentar el empleo local, aunque la estimación de este efecto es mucho más compleja. Finalmente, hay valores para los consumidores que van más allá de lo meramente económico. Algunos consumidores podrían obtener cierto valor o satisfacción al autogenerar su electricidad con energía verde por ejemplo, a pesar que ello pueda resultar más costoso que la alternativa de comprar directamente la energía de la red.

Otros beneficios independientes de la ubicación que también se incluyen en la tabla 1 son la reducción de emisiones cuando generación distribuida sea de origen renovable o cuando se consiga una reducción u optimización del consumo mediante medidas de gestión de la demanda o eficiencia energética. Además, la generación distribuida tiene beneficios en la seguridad de suministro energético al ser un recurso local que no depende de factores externos.

3. El valor de recursos distribuidos infrautilizados

Actualmente existen importantes recursos distribuidos instalados y disponibles en los edificios y viviendas, que pueden proveer servicios al sistema eléctrico, y sin embargo no lo hacen. Estos recursos son los electrodomésticos, los climatizadores, los generadores de respaldo, etc. Además, nuevos recursos distribuidos tales como los vehículos eléctricos cuyo principal objetivo es cambiar el modo de movilidad, también pueden proveer servicios al sistema eléctrico. La optimización de la operación de todos estos recursos es una necesidad para conseguir un sistema eléctrico más eficiente en el futuro.

La transformación de consumidores pasivos a consumidores flexibles y que responden a señales económicas de precio puede aumentar exponencialmente la capacidad de los recursos distribuidos de dar servicios en el momento y lugar donde ofrezcan más valor al sistema eléctrico. Además, en muchos casos, aprovechar el valor de estos recursos distribuidos existentes puede ser más eficiente que invertir en nuevos recursos distribuidos o centralizados o en redes de transporte o distribución. Sin embargo, para explotar el valor de estos recursos, por lo general, se necesitan inversiones en telecomunicaciones, sistemas de control o infraestructura de medición, aunque, en la mayoría de los casos, estas inversiones pueden ser modestas. Otro coste a considerar es el coste de oportunidad relacionado con una posible pérdida de confort en el uso de determinados electrodomésticos o aparatos de climatización. No obstante, este coste de oportunidad suele ser bajo para algunos recursos como en el caso de sistemas de climatización con acumulación térmica o inversores inteligentes que controlan la potencia activa y reactiva de los paneles solares. En otros casos, el coste de oportunidad puede ser alto, por ejemplo, cuando hay que reducir la demanda en una situación de emergencia. Además, hay costes de implementación de los cambios regulatorios que deben tomarse en cuenta. En la actualidad, existen barreras en el funcionamiento del mercado, así como en la planificación y operación de las redes de distribución que impiden que muchos de estos recursos distribuidos presten servicios al sistema. Los capítulos 6 y 7 del *Utility of the Future* exploran estas barreras y proponen alternativas de mejora.

4. Economías de escala y el coste de oportunidad de los recursos distribuidos

Algunas de las tecnologías más empleadas en instalaciones de recursos distribuidos, tales como los paneles fotovoltaicos, las baterías o las celdas de combustible, pueden instalarse en múltiples tamaños. Estas instalaciones dependiendo de su tamaño presentan diferentes grados de economías de escala, lo que significa que los costes de la tecnología son decrecientes por unidad de capacidad según el aumento del tamaño de la instalación.

El tamaño para el cual las economías de escala se agotan varía significativamente de una tecnología a otra. Las centrales de generación tradicionales como la nuclear, hidráulica, carbón o gas natural se han construido en tamaños con unidades que van desde los cientos hasta los mil megavatios, maximizando de esta manera la reducción de costes debido a las economías de escala. Por el contrario, para las

tecnologías de las que estamos hablando, como la solar fotovoltaica, las economías de escala se agotan en los pocos cientos de megavatios. Aun así, incluso para esta tecnología las economías de escala son significativas (ver figura 2).

Por lo tanto, las economías de escala son importantes incluso para los recursos distribuidos. Para los recursos que pueden instalarse en múltiples tamaños, se debe de llegar a un balance entre el aumento de valor debido a la ubicación más distribuida de los recursos en los lugares más efectivos en el sistema eléctrico y el coste adicional por la reducción en el tamaño de las instalaciones. De esta manera, se podrá identificar la ubicación y aplicaciones óptimas de estos recursos. En algunos lugares específicos donde las redes están experimentando congestiones frecuentes o en áreas de alto aumento de la demanda, el valor asociado a la localización de los recursos puede ser considerable (ver figura 1), y ello otorgaría ventajas económicas a la opción de recursos distribuidos como paneles fotovoltaicos o tecnologías de almacenamiento a pequeña escala, comparado con estas mismas tecnologías de mayor tamaño y menor coste pero no ubicadas en lugares idóneos. Por otro lado, en redes eléctricas donde las congestiones son poco frecuentes, el valor asociado a la ubicación puede ser bastante reducido y por tanto compensar el aprovechar las economías de escala con instalaciones de mayor tamaño.

La determinación eficiente del tamaño y ubicación correctos de los recursos distribuidos requiere, por tanto, de un sistema de precios y cargos que ponga en valor los costes y beneficios involucrados y garantice la igualdad de condiciones en la competencia entre los recursos centralizados y los distribuidos en sus diferentes tamaños. De esta manera, los inversores en estos recursos internalizarán el balance entre el valor asociado a la localización de los recursos y las economías de escala. Cómo debe configurarse este sistema de precios y cargos excede el ámbito de este artículo pero para los lectores interesados se desarrolla en detalle en el capítulo 4 del *Utility of the Future*.

Finalmente, conviene recordar que los sistemas eléctricos se han ido interconectando a lo largo de los años para aprovechar los beneficios asociados a la complementariedad de los recursos, por ejemplo, energías renovables dispersas en extensos territorios. En las horas en las que hay lluvia o viento y por lo tanto mucha generación hidráulica y eólica, puede complementarse con energía solar que se produce en otras horas y por lo tanto satisfacer la demanda en un largo período con recursos renovables. Los excedentes de energía renovable pueden almacenarse para ser utilizados en horas con mayor déficit de producción y por tanto con precios de la energía más elevados o exportarse a sistemas vecinos, también importar energía cuando sea económicamente efi-

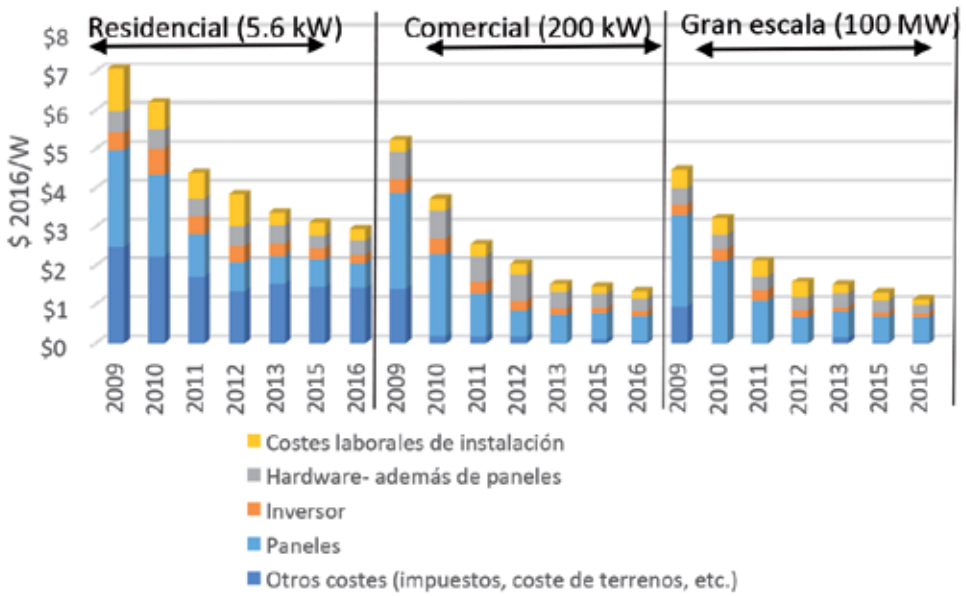


Fig. 2. Coste de los paneles fotovoltaicos en Estados Unidos según el tamaño de las instalaciones durante el período 2009-2016. Fuente: Elaboración propia basada en datos de NREL (2016)

ciente. Cuanto más extensos sean los sistemas eléctricos interconectados, mayor será la posibilidad de complementariedad de recursos. El óptimo económico de la interconexión de sistemas dependerá del coste de las interconexiones y el coste de operación de las mismas.

En resumen, cuando se considera el valor de los recursos distribuidos se debe de tener en cuenta el valor temporal y espacial de los servicios que ofrecen, el coste de oportunidad y de transacción asociados a la operación de estos recursos, los costes iniciales de activación necesarios para que estos recursos puedan consumir o proveer servicios al sistema eléctrico, y las economías de escala.

5. Conclusiones

Una de las mayores transformaciones que afrontan los sistemas eléctricos de nuestros días es la proliferación de los recursos distribuidos. Estos recursos se encuentran conectados en las redes de distribución eléctrica y cerca de los consumidores, lo que les da más opciones para gestionar sus consumos, autoabastecerse de energía e incluso proveer servicios al sistema eléctrico.

Los beneficios económicos que aportan los recursos distribuidos pueden ser de diferente índole. Pero el elemento característico de los recursos distribuidos es su ubicación. Esta característica ofrece una serie de beneficios al sistema eléctrico, como la reducción de pérdidas y congestiones, el retraso o reducción de inversiones en redes, así como el aumento de la calidad, fiabilidad y resiliencia del suministro.

Sin embargo, para que estos beneficios se materialicen es fundamental observar el tiempo y lugar en concreto en el que se instalan los recursos. El valor que aportan los recursos distribuidos al sistema puede ser muy grande o muy pequeño, en función de dónde se instalen. Y a ello también contribuyen las economías de escala, significativas también para los recursos distribuidos, y que pueden hacer que, a pesar del valor del recurso distribuido, pueda compensar más su utilización de forma centralizada. Además, hay otros beneficios de estos recursos que no dependen de su ubicación, como por ejemplo los servicios de control de frecuencia o capacidad firme.

Por tanto, y a la hora de decidir correctamente qué recursos instalar de forma distribuida y cuáles de forma centralizada, es esencial contar con una regulación correcta, que envíe señales de precios y cargos eficientes y robustas y que genere un terreno de juego equilibrado. Estas condiciones permitirán también activar de forma eficiente recursos en manos de los consumidores que actualmente proporcionan por ejemplo climatización o movilidad, pero que también podrían dar servicios eléctricos al sistema. Por supuesto, habrá que valorar en todo caso que la activación de estos recursos requiere una serie de costes en telecomunicaciones, gestión y control, medida, etc.

Finalmente, hay que recordar que los sistemas eléctricos se han ido interconectando a lo largo de los años para aprovechar la complementariedad de los recursos energéticos. Los beneficios de esto son múltiples, desde la eficiencia económica, la reducción del impacto ambiental, hasta el aumento en la seguridad de suministro. Por consiguiente, la integración eficiente de los recursos distribuidos, en la gran mayoría de los casos, debería formar parte y cooperar al buen funcionamiento de los sistemas eléctricos interconectados. **ROP**

Notas

(1) Para una mayor discusión de la definición de los servicios, ver el capítulo 2 del proyecto *Utility of the Future*.

Referencias

- CSI, California Solar Statistics. 2016. «*California Solar Statistics*». https://www.californiasolarstatistics.ca.gov/reports/locale_stats/.

- Fraunhofer ISE. 2016. «*Recent Facts about Photovoltaics in Germany*». Freiburg, Alemania. https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf.

- NREL, National Renewable Energy Laboratory. 2016. «*U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2016*». http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66532.pdf.

- Pérez-Arriaga, I.J, C Batlle, T. Gómez, J. Chaves-Avila, P. Rodilla, I. Herrero, P. Dueñas, et al. 2016. «*Utility of the Future. An MIT Energy Initiative response to an industry in transition*». http://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/12/Utility-of-the-Future-Full-Report.pdf.

- Utility Dive. 2016. «*17 % of Hawaiian Electric customers now have rooftop solar*». Utility Dive. http://www.utilitydive.com/news/17-of-hawaiian-electric-customers-now-have-rooftop-solar/413014/.