

## Redes eléctricas futuras: redes creando redes

C. S. Seefoó\* y M. Robles\*\*

\*Ingeniera en Energías Renovables por la UNAM

\*\*Investigador Titular del Instituto de Energías Renovables de la UNAM

En estos días la palabra "red" se ha vuelto cotidiana. Todos participamos en redes sociales, nos movemos en redes de transporte, el trabajo se organiza en red, los productos se mueven en redes de distribución y hasta la energía llega a nuestras casas gracias a una red eléctrica. Una red es entonces un conjunto cuyos elementos tienen enlaces que los conectan entre sí. Estas ligas pueden permanecer en el tiempo o cambiar, ser reales o virtuales. Un buen ejemplo para entender las redes y cómo funcionan son las Redes Sociales modernas, que son parte del Internet. En ellas el conjunto que las forma es una lista de contactos y las ligas entre ellos se crean a partir de un programa de cómputo accesible a todos, donde cada quien solicita, acepta o declina relacionarse con los demás. El programa vive en un medio ubicuo y etéreo, que llamamos nube.

El caso del sistema eléctrico no es muy diferente a una red social, simplemente que aquí en lugar de una lista de amigos o seguidores, tenemos una enorme lista de nodos que corresponden a centrales generadoras de energía y consumidores (en donde estás tú, tus vecinos, tus amigos, tu escuela, oficinas, comercios, etc.) que se encuentran conectados por un cableado físico, real. Esta configuración ha permanecido así casi desde el inicio del sistema eléctrico a finales del siglo XIX [1]. El sistema funcionaba de manera unidireccional: se generaba la energía, viajaba grandes distancias y era consumida por los usuarios, fin de la historia. Si fallaba este gran sistema, entonces los encargados debían primero darse cuenta qué estaba fallando, ubicar en dónde, arreglarlo y, probablemente, dejar sin energía eléctrica a unos cuantos cientos de usuarios en lo que eso sucedía. ¿Y qué ha cambiado? El sistema eléctrico comenzó a evolucionar gracias a los avances en nuevas tecnologías de la comunicación y lo fanáticos que solemos ser algunos humanos a estar conectados 24/7 para saber qué sucede en todo momento, en todo lugar. Se comenzaron a instalar sensores en más puntos de la red, que serían el equivalente a ese amigo que todos tenemos que adora publicar todo el tiempo lo que hace, en dónde está o cómo se siente. Gracias a estos sensores, al detectarse una falla,

esta se arregla con mayor rapidez. Las redes eléctricas, entonces, tienden a volverse lo que hoy se llama "inteligentes", cuando la información de muchos sensores se almacena se analiza y se pueden construir programas que aprendan cuándo generar alertas y cuándo actuar, ya sea con intervención humana o no. Las redes inteligentes parecen ser una necesidad moderna.

Probablemente los cambios más interesantes en las redes eléctricas están llegando gracias a las energías renovables, particularmente la energía solar fotovoltaica. Las renovables, para los cuales, llegaron a cambiar las cosas, cada día es más sencillo (costeable, de fácil acceso, etc.) que generemos energía eléctrica desde la comodidad de nuestras casas

empezado a jugar un papel muy importante.

### Microrredes

Para entender el concepto de microrred podemos recurrir de nuevo a las redes sociales. En una red como Facebook o Twitter, los que intervenimos tenemos nuestro alcance solo un subconjunto de amigos o seguidores pequeño respecto al total de usuarios de la red. Es decir creamos a una red pequeña y dinámica que podemos modificar a voluntad, para la mayoría de la gente es tan pequeña respecto al total de usuarios, que podría calificarse como micro. La red social completa se forma por millones de microrredes que al final permiten que todos estén conectados en pocos pasos.

en comunidades alejadas de las redes extensas. En el caso de México se han construido varias microrredes, por ejemplo en San Juanico [2], Baja California Sur y Xcalak [3], en Othón P. Blanco, Quintana Roo, las cuales persiguen el objetivo de brindar acceso a la electricidad a zonas donde resulta complicado conectarse a la red. La microrred de San Juanico alimenta una comunidad pesquera con sistemas fotovoltaicos, aerogeneradores y diesel. Por su parte la microrred caribeña de Xcalak provee de energía a 252 habitantes por medio de aerogeneradores.

### Microrredes urbanas.

Es un hecho contundente que en las ciudades la generación de energía eléctrica con paneles

zaron a instalarse y fué el principio de un caso emblemático que permite intuir el futuro de las redes eléctricas y el cambio de paradigma de distribución. Un conjunto de vecinos organizados formaron una microrred en el corazón de la ciudad. Lograron crear un sistema que permite producir y vender energía, tanto a la compañía de energía local como a los mismos vecinos del barrio. En abril de 2016 comenzaron las primeras transacciones de energía y se lograron mediante una tecnología computacional conocida como "Blockchain" o cadena de bloques. Pero, ¿que no esta tecnología tiene que ver con las criptomonedas?, ¿qué tiene que ver esto con la energía? las respuestas no son simples, pero trataremos de aclararlo.

El Blockchain es una tecnología que permite crear registros inalterables de una comunicación digital y almacenarlos en bases de datos distribuidas. Es decir, vive en el ámbito de las redes de datos y del Internet, no de las redes eléctricas. Es una especie de libro de acontecimientos digitales que es compartido entre muchos participantes. Sólo puede actualizarse contando con la aprobación de la mayoría y una vez hecho un registro no puede modificarse. Por tanto, su viabilidad depende de tener redes computacionales distribuidas, con sistemas de seguridad contra fallos, con usuarios dispuestos a participar en la implementación y con mecanismos de validación funcionales. ¡Y todo eso existe en Internet! Precisamente es lo que está permitiendo la existencia de criptomonedas, que ya no requieren de bancos como intermediarios de las transacciones económicas y está provocando un cambio en los sistemas financieros internacionales. Efectivamente el Blockchain es la tecnología detrás de este tipo de monedas. Pero puede funcionar para todo tipo de transacciones comerciales y en Brooklyn funciona para comprar y vender energía entre vecinos productores y consumidores sin un intermediario económico. La microrred de Brooklyn puede ser un modelo técnico económico, diferente a la red de distribución centralizada tradicional de las redes eléctricas.

Un tercer ingrediente importante en esta experiencia viene del concepto de resiliencia. Es un concepto surgido de la psicología, que habla de la capacidad que tiene una persona para superar circunstancias adversas y adaptarse positivamente a ellas. En el ámbito de las redes, la resiliencia se puede entender como la capacidad de mantener o recuperar la conectividad cuando se presentan situaciones extremas o sabotajes. El internet ha demostrado ser una red resiliente, capaz



Figura 1. Esquema general de una red, cada punto representa un nodo y las líneas las relaciones entre ellos. Al clasificar los nodos se puede observar como una red formada de redes más pequeñas, las cuales pueden representar a las microrredes.

y, aparte de consumir lo que generemos, regresarlo a la red para que otros lo usen. Lo que ha llevado a que el sistema eléctrico comience a funcionar de manera bidireccional. Sin embargo, el modelo actual del sistema eléctrico nacional, aunque incorpore fuentes renovables, sigue incentivando la producción de energía a través de centrales, principalmente fotovoltaicas o eólicas. Son los pequeños generadores que adora publicar todo el tiempo lo que hace, en dónde está o cómo se siente. Gracias a estos sensores, al detectarse una falla,

En una red eléctrica el concepto clásico de una microrred dice que es una red que utiliza fuentes de energía distribuidas, es decir locales, renovables o no, junto con dispositivos de almacenamiento para suministrar una demanda de energía también local. Puede operar conectada a un sistema eléctrico pero en general suelen estar diseñadas para hacerlo también de manera aislada. Es por tanto una especie de "isla" en el sistema eléctrico.

Estas microrredes empezaron a crearse para distribuir energía

fotovoltaicos es rentable cuando se interconectan al sistema eléctrico. De manera espontánea en muchos países, y México no es la excepción, ya aparecen pequeños productores de energía. Durante el día inyectan energía al sistema eléctrico, haciendo girar sus medidores al revés y de noche consumen. El balance permite bajar el costo de la energía eléctrica de manera considerable.

Alrededor del año 2010, en la ciudad de Nueva York, concretamente en el barrio de Brooklyn [4], las instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red comen-

## ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: [editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)



de resistir ciberataques cada vez más frecuentes y más intensos. Las redes eléctricas pueden ser o no resistentes a desastres naturales o ataques humanos deliberados. De hecho, conociendo la experiencia del huracán Sandy en Nueva York, la microrred de Brooklyn decidió utilizar baterías para almacenar energía, pensando en tener un respaldo durante este tipo de eventos naturales y aumentar su resiliencia.

La baja en los costos de las baterías y la mejora de su capacidad de almacenamiento ha permitido ir más allá de la producción de energía interconectada a la red, para llegar a la idea de microrredes inteligentes, capaces de conectarse o desconectarse de la red según sea necesario y por qué no, aprendiendo de las circunstancias del entorno, por lo que una red urbana podría estar formada por una red de células de energía, administradas sin intermediarios por medio de la tecnología Blockchain. Con ejemplos como el de Brooklyn, esto parece estar ya sucediendo, sumando redes de datos, redes de distribución y de almacenamiento de energía.

### El futuro de las redes

El futuro es siempre incierto, pero hay elementos presentes que indican que el modelo de red eléctrica unidireccional con generación en centrales se verá obligado a cambiar pronto. Hacer una transición energética planteada solo con la introducción de centrales fotovoltaicas o eólicas ha mostrado no estar libre de impactos sociales y ambientales. La aparición espontánea de microrredes como células productoras de energía parece inevitable y se hace necesario estudiar cómo pueden conformarse y qué efectos tendrán sobre la operación de los sistemas eléctricos tradicionales, sobre las instituciones reguladoras y sobre la sociedad en general.

Recientes artículos de investigación [4,5] muestran cómo la organización de las redes urbanas en microrredes, como la de Brooklyn, dinámicas y con bidireccionalidad pueden aumentar la resiliencia de las redes actuales. Estos nuevos diseños requieren de esfuerzos multidisciplinarios que integren la geometría de las ciudades, su organización en pequeños cúmulos con generación de una o varias fuentes renovables e interconexión con los demás.

En nuestro país el reto de modernizar las redes y prepararlas para una organización distribuida es mayor. Por un lado, nuestras ciudades presentan geometrías diversas, con barrios y colonias ordenadas a un lado de sitios caóticos y complicados. Además, la cantidad de datos accesibles

es considerablemente menor que en los países desarrollados. Sin embargo, es posible utilizar fuentes de información digital existente, como mapas, fotos satelitales, para configurar microrredes ideales y simular su comportamiento con métodos



& Tecnologías, Nuevas & A De, S. (1999). Lessons Learned from the Xcalak Village Hybrid System: A Seven Year Retrospective. Solar World Conference. 1.

[4] Mengelkamp, E., Gärtner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). Designing

microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. *Applied Energy*, 210, 870–880. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.054>

[5] Halu, A., Scala, A., Khiyami, A., & Gonzalez, M. C. (2016). Data-driven modeling of solar-pow-

ered urban microgrids. *SCIENCE ADVANCES*, 2(1). <http://doi.org/10.1126/sciadv.1500700>

[6] Seefoo, C. Microrredes con generación fotovoltaica en entornos urbanos. <http://132.248.9.195/ptd2017/noviembre/413038474/index.html>

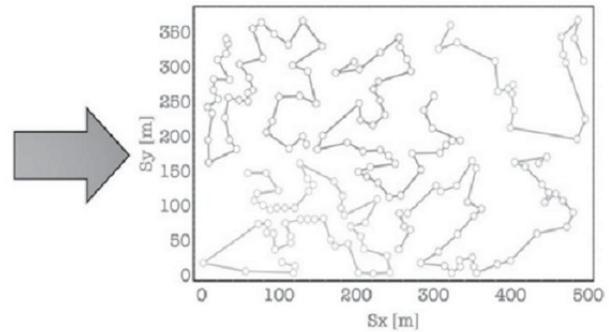


Figura 2. Propuesta de diseño de microrredes en un entorno urbano de Temixco Morelos, utilizando métodos de agrupamiento automático. Mapas pueden transformarse para encontrar las microrredes óptimas en entornos urbanos. Datos del mapa: Google, DigitalGlobe.

modernos de clasificación y de aprendizaje automáticos. De esta forma, se pueden diseñar microrredes que se adapten a la distribución y condiciones climatológicas de las ciudades en donde se ubicarán [6]. Para hacerlo es necesario un trabajo multidisciplinario, que incorpore métodos computacionales, ingeniería eléctrica, física estadística, modelos financieros, energías renovables, entre otros.

El cambio de paradigma en las redes eléctricas quizás no cancele el modelo centralizado, pero sí cambie radicalmente la unidireccionalidad de la energía y, por lo tanto, el papel de los usuarios en el sistema. Quizás, cada vez más las redes eléctricas se parecerán a las redes sociales, serán más dinámicas y se encontrarán más centradas en el consumidor. Así, los consumidores se volverán actores clave del sistema y no solo elementos pasivos del mismo. Las microrredes por lo tanto, presentan un cambio de paradigma para el empoderamiento del consumidor. El diseño de las redes futuras será sin duda un trabajo en red que utilice todas las herramientas proporcionadas por las redes mismas. Redes creando redes.

### Referencias

[1] CFE. CFE y la electricidad en México. Disponible en [http://www.cfe.gob.mx/conocecfe/1\\_acerca decfe/cfe\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_mexico/paginas/cfeylaelectricidadmexico.aspx](http://www.cfe.gob.mx/conocecfe/1_acerca decfe/cfe_y_la_electricidad_en_mexico/paginas/cfeylaelectricidadmexico.aspx) (2017/07/10), 2014.

[2] R. Taylor. Renewable Hybrid System Applications around the World Natural Gas/Renewable Energy Hybrids Workshops, 2001.

[3] Foster, Robert & Orozco, Ron & Romero, Arturo & Rubio, Paredes

NÚMERO 11 OCTUBRE-NOVIEMBRE-DICIEMBRE DE 2017

# Biotecnología en MOVIMIENTO

REVISTA DE DIVULGACIÓN DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNAM

## Terremotos y los sistemas auto-organizados

Trucos de los virus para infectar plantas

Diseño de enzimas por computadora

Estrategias de patentamiento biotecnológico en Cuba

Hepatitis A,B,C,D y... E

Protección civil

La comunidad del IBt después del terremoto

Hormigas y anarquía

Disponible en [www.ibt.unam.mx](http://www.ibt.unam.mx)