

# Sistemas eléctricos con bajas emisiones de carbono

Pilar Cortiñas, Gabriel Ledda, Agustina Lopez, Lucas Pizarro, and Florencia Puebla

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

**Abstract.** Dar lugar a las energías renovables dentro de los sistemas eléctricos puede minimizar considerablemente los principales impactos que estos producen en la actualidad. Sin embargo, es importante evaluar los sistemas eléctricos no sólo teniendo en cuenta su impacto, sino también considerando la producción de energía y la economía. En el siguiente informe se presentan herramientas para promover la transición energética y poder analizar los beneficios de la implementación de energías limpias y cómo introducirlas correctamente. Se menciona, además, el problema de la presencia de contaminantes, seguridad ambiental e incineración de residuos como fuente de energía renovable.

**Keywords:** Sistema de red eléctrica · LCOE · Potencia · Almacenamiento de energía · IOT · Inteligencia Artificial · Transiciones S-E

## 7.1 El Sistema de red eléctrica

Las redes eléctricas son las mayores máquinas del mundo. Para evitar la existencia de múltiples líneas de transmisión y distribución que van en paralelo a los hogares donde se presta servicio, las jurisdicciones conceden a las empresas de servicios públicos el derecho a mercados enteros, por lo que son un monopolio natural. Estos evolucionaron y se desarrollaron, y la desregulación de los servicios públicos abrió nuevos mercados competitivos para la generación de electricidad. Hay lugares en los que las compañías eléctricas contratan a centrales comerciales para adquirir la mayor parte de su energía eléctrica.

**Definición.** Una red eléctrica es un conjunto de componentes y dispositivos interconectados que transmiten, distribuyen y entregan la electricidad, desde los proveedores hasta los consumidores. Incluye cables y torres de transmisión, cables y torres de distribución, subestaciones, transformadores, contadores y otras partes esenciales, incluyendo a veces los generadores de energía, las empresas y los trabajadores.

Físicamente, una red eléctrica está constituida por centrales eléctricas, infraestructuras de transmisión y distribución y subestaciones, las cuales generan electricidad en corriente alterna (CA), que se eleva en una subestación cercana

a voltajes más altos mediante transformadores. Este alto voltaje (100s de kilovoltios o algunos comunes son 230000 voltios; 345000 voltios; 440000 voltios; 500000 voltios; 750000 voltios) hace que resulte más fácil empujar cantidades significativas de energía en un cable relativamente delgado. Para mover cantidades significativas de electricidad a voltajes más bajos se necesitan cables muy gruesos. (Fig. 1)

La mayoría de las líneas de transmisión de alta tensión suministran corriente alterna, aunque hay algunas líneas de transmisión de corriente continua (CC) de alta tensión. La ventaja de la CA sobre la CC es que la energía de CA puede tener muchas derivaciones para entregar localmente en los circuitos de distribución. Las líneas de CC pueden ser usadas más frecuentemente para trasladar las energías renovables a los centros de carga. Una vez que la energía llega a una subestación de distribución, se reduce a varios cientos de voltios y se transporta en postes eléctricos. Son los conocidos postes de madera o cemento que distribuyen la electricidad en un barrio. A medida que se acerca a los hogares y las empresas, un transformador de línea baja el voltaje por última vez, listo para ser entregado a la caja de interruptores de una casa a 220 voltios, donde la mayoría de los enchufes son de 110-220 voltios. Esto varía según la región.



**Fig. 1.** Subestación eléctrica de Amboy Crater, California, en el desierto de Mojave

**Tipos de descuento sociales.** La mayoría de los inversores consideran que el dinero pierde valor neto en el tiempo. Así que, la tasa social de descuento es una medida de dicha pérdida. Mientras más alta sea la tasa de descuento, más rápido

disminuirá éste valor. Los expertos en ética medioambiental y los profesionales del sector han observado que los inversores públicos en el tiempo no descuentan tanto el valor futuro del dinero y prefieren una tasa de descuento baja. La mayoría de las inversiones relacionadas con la salud y el cambio climático tienen tasas de descuento bajas, del 3%.

La red eléctrica de Estados Unidos, que resulta ser la mayor del mundo, se divide en tres secciones (Interconexión Occidental, el Consejo de Fiabilidad Eléctrica de Texas y la Interconexión Oriental). Algunas incluso están integradas en la transmisión con México y Canadá. China tiene dos grandes redes eléctricas y varias más pequeñas, pero tiene previsto interconectarlas en el futuro. La red eléctrica de la India no llega a toda su población y no está interconectada. En Australia, la transmisión está dividida en dos redes. Europa se alimenta principalmente de la red sincrónica de Europa Continental. Hay muchos analistas energéticos que abogan por una mayor integración de la red para hacer circular la electricidad renovable por regiones más amplias. En las zonas más pobres del mundo, el acceso a la red es limitado, como en el Congo que no llega al 14% de la población

La variabilidad de la demanda y la oferta a lo largo de un día sigue un patrón que permite dividirla en energía de carga base, energía de pico y energía de hombro. El término “carga base” describe una central eléctrica que funciona casi a todas horas. Es decir, que tiene un factor de capacidad elevado. La potencia máxima, como suena, es la mayor potencia que requiere la red, sería el pico de la demanda. Esto suele ocurrir a última hora del día, cuando todo el mundo está utilizando la energía, pero el pico de la red se desplaza más hacia la noche a medida que se instala más energía solar y más baterías en la red de distribución. Esta energía solar o de almacenamiento, desplaza el pico desde el mediodía (cuando está más soleado) hasta el final del día cuando el sol está bajo en el cielo. (Fig. 2)

## 7.2 Costo nivelado de energía

El LCOE es una forma de medida económica que representa el costo de la energía eléctrica. Permite comparar diferentes fuentes de energía que tienen factores de capacidad variables o que no son posibles obtener medidas de su funcionamiento o consumo de combustibles a largo plazo. La medida de LCOE analiza principalmente costos de capital, combustibles, su costo de funcionamiento y mantenimiento en el plazo de un año, y la financiación teniendo en cuenta la tasa de descuento y la vida útil de la planta. (Fig. 3).

**Definición** El costo nivelado de energía determina el valor de la electricidad por un determinado tiempo. Sus unidades de medida más común son USD por kWh.



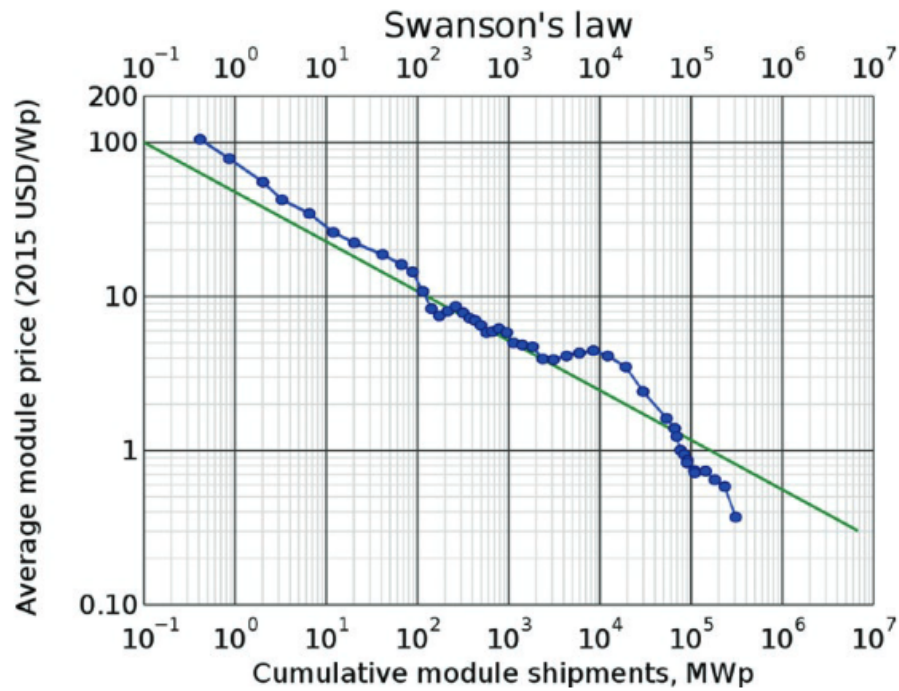
**Fig. 2.** Las ubicaciones de la infraestructura de las líneas de transmisión presentan dificultades y desafíos en áreas con riesgo de incendio o en áreas naturales.

El LCOE se utiliza frecuentemente para realizar comparaciones de la energía solar con la energía brindada por los servicios públicos. Este análisis permite determinar tasas de descuento y de interés, bajo diferentes escenarios, con tarifas minoristas, mediciones de costos fijos o de aquellos que han sido evadidos, entre otras. Esta herramienta permite evaluar cómo influyen incentivos federales, estatales y de servicios públicos en los costos generales. Esta herramienta de medición se utiliza también para analizar costos sociales o medioambientales, como por ejemplo el costo social del carbón, los límites de emisión de contaminantes y la disminución de costos al cumplir las normas de servicios públicos.

Para calcular el LCOE, se puede acceder al sitio web: <https://sam.nrel.gov/>, el cual permite analizar diferentes escenarios y determinar cual es la forma de energía y condiciones mas convenientes.

### 7.3 Densidad de Potencia

La densidad de potencia es una forma de describir la cantidad de energía que puede ser obtenida desde una fuente de energía por unidad de superficie o espacio. Sirve para dar una idea de si los recursos energéticos específicos pueden ser



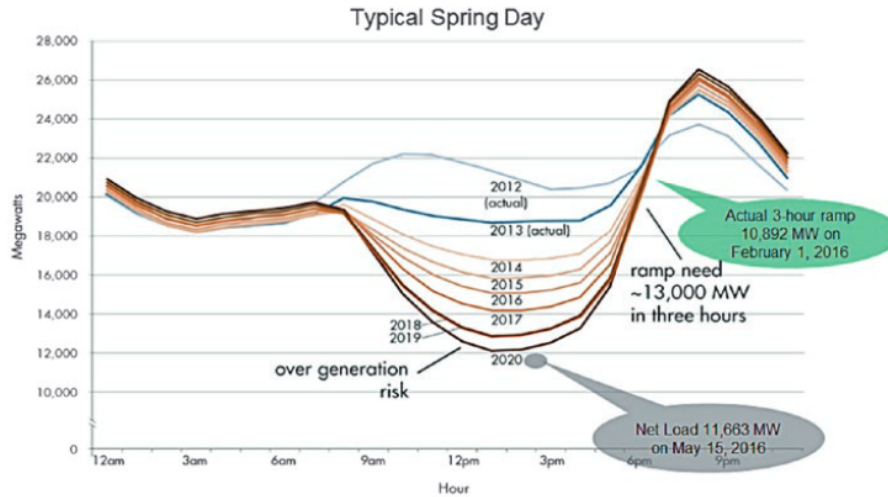
**Fig. 3.** Efecto de Swanson: Propone que una duplicación de la producción se ve reflejada en un 20% menos de costos.

combinados para alimentar algún área, instalación o lugar. Algunos recursos energéticos son más densos en potencia que otros, como la energía nuclear o combustibles fósiles, comparados con las energías renovables. De éstas últimas, la solar es la más densa energéticamente, luego la hidroeléctrica. La energía eólica y geotérmica tiene densidades menores (aunque la geotérmica tiene un impacto de superficie relativamente pequeño), mientras que el biogás tiene la menor densidad de potencia y ocupa más superficie por unidad de energía.

#### 7.4 Diseño de sistemas de electricidad para mayor flexibilidad

La flexibilidad en la generación y en la demanda del sistema eléctrico en el futuro será clave para poder incorporar energías renovables debido a su dispersión. En algunas ciudades, no hay equilibrio entre la demanda máxima en horas pico y la producción máxima de energía renovable. Esto puede observarse en la curva del pato (the duck curve), donde la línea azul muestra la porción de demanda satisfecha por empresas de servicios públicos en total y la línea roja al excluir la energía eólica y solar. Durante las horas de luz solar, casi el total de la demanda puede ser satisfecho por energías renovables. Sin embargo, durante la tarde la

energía solar baja y además se da el mayor consumo energético, obligando a aumentar la producción por medios convencionales. (Fig. 4)



**Fig. 4.** La curva de pato de California muestra la necesidad de un significativo aumento de la potencia.

La gran variación de factores durante el día, como puede ser un día nublado o un cambio en la velocidad del viento produce dificultades para medir cuánta energía no convencional es necesaria para satisfacer la demanda.

Debido a que no es fácil predecir la demanda, es necesario aumentar la producción durante en horas pico, lo que es costoso y genera una gran polución. Las plantas de energía nuclear y de carbón son lentas y costosas de detener, las plantas que utilizan gas natural son más flexibles pero caras de operar.

Para poder solucionar estos inconvenientes y “aplanar” la curva de pato, se proponen diez estrategias que pueden ser aplicadas para mejorar la sostenibilidad a largo plazo, Las mismas se mencionan a continuación. Es importante aclarar que a pesar de que cada estrategia por sí misma aporta beneficios, el efecto es mucho mayor cuando estas son combinadas.

1. Buscar la eficiencia energética en las horas de mayor demanda.
2. Orientar los paneles solares hacia el oeste para maximizar la producción durante el atardecer.
3. Hacer énfasis en el aprovechamiento y almacenamiento de la energía solar térmica.
4. Implementar normas que permitan gestionar las cargas eléctricas de calentamiento para recortar picos.

5. Requerir que los nuevos aires acondicionados incluyan horas de almacenamiento térmico.
6. Retirar plantas inflexibles con altos requisitos de funcionamiento.
7. Modificar las tarifas en horas picos, para inducir cambios en la demanda.
8. Implementar almacenamientos de energía en zonas estratégicas.
9. Establecer programas de respuesta a la demanda.
10. Usar transacciones energéticas interregionales para aprovechar la diversidad de cargas y recursos.

### 7.5 Almacenamiento de energía y planificación integrada de recursos

El reto principal, tanto para la curva de pato como para la integración de recursos energéticos intermitentes, es encontrar una forma de almacenar la energía generada, en momentos en que la oferta de recursos energéticos renovables es elevada y la demanda es baja. El almacenamiento de energía es fundamental para la transición energética, ya que permite flexibilizar la producción de energía renovable y garantizar la correcta integración al sistema. Existen numerosos tipos de tecnologías de almacenamiento. En el caso de la electricidad, la forma más común es el almacenamiento por bombeo, que almacena energía potencial gravitacional a medida que el agua se bombea cuesta arriba en épocas de poca demanda de energía, para utilizar la electricidad más tarde cuando hay picos o caídas de tensión que atender. (Fig. 5).

Las baterías de sodio y azufre han sido usadas en el sistema de generación de electricidad de Japón desde la década de 1980. Los volantes de inercia son una tecnología de almacenamiento que utiliza la energía cinética como un juguete de cuerda que almacena energía. Las tecnologías de aire comprimido tienen varias formas, algunas utilizan gas natural, mientras que otras utilizan diferentes tecnologías de compresión y expansión.

Las baterías de vanadio redox usan una solución electrolítica para mantener la carga eléctrica. Aunque hay numerosos esfuerzos sostenidos para continuar investigando esta tecnología, muy pocos han sido capaces de competir con las baterías de bajo costo de iones de litio (Li-ion). Se ha visto en ellas la solución al problema del almacenamiento de la energía generada. Siendo uno de los elementos más pequeños de la tabla periódica, el litio cuenta con un elevado potencial electroquímico y puede acumular grandes cantidades de energía.

A medida que las baterías de iones de litio se abaratan, habrá un incremento en las sinergias entre los vehículos eléctricos y las aplicaciones almacenamiento en estaciones. Las baterías de almacenamiento estacionario pueden incluso tener una segunda vida después de los vehículos eléctricos, ya que las baterías se utilizan en mercados secundarios que no requieren el mismo rendimiento y la misma entrega de energía que los vehículos eléctricos. El almacenamiento estacionario



**Fig. 5.** Hay propuestas para convertir la presa Hoover - una central eléctrica del siglo XX para el oeste americano - en un proyecto de almacenamiento por bombeo.

puede ser una aplicación ideal para esto, y los dispositivos reutilizados pueden suponer un ahorro de costos.

Mientras las baterías se abaratan, recompensarán a otras tecnologías de energías renovables. Los críticos argumentan que esto será extremadamente costoso ya que el costo de las baterías superará con creces el de otros recursos energéticos por sí mismos; pero la combinación con las renovables puede ser el dúo que cambie el juego necesario para alimentar a una mayor parte de la sociedad con energía solar.

## 7.6 Redes inteligentes, Internet de los objetos e inteligencia artificial

Durante la última década se han incrementado las investigaciones sobre las energías renovables, haciendo uso de distintos avances tecnológicos, como lo son el Internet de las cosas (IoT) y las Inteligencias Artificiales. Una aplicación de esto se encuentra en los edificios inteligentes, los cuales optimizan el gasto energético a la hora de aclimatar el edificio analizando sus propios patrones de enfriamiento y calentamiento.

La inteligencia artificial es capaz de realizar decisiones sobre parámetros del entorno, pudiendo potenciar las capacidades operativas de los sistemas con los que trabaje, como pueden ser los dispositivos del IoT, siendo un elemento clave para las nuevas redes inteligentes.

Como se menciono anteriormente, una optimización de la energía es fundamental, y debido a que la demanda de energía no es constante, es necesario realizar un estudio de su comportamiento, para evitar excesos a la hora de generar energía, y a su vez prever aquellos momentos donde la demanda pueda superar la capacidad de producción. En el caso de las energías renovables se presenta la desventaja de ser de generación variable, pudiendo generar grandes cantidades de energía en horas donde no hay gran consumo o no siendo capaces de satisfacer la demanda en horarios de alto consumo



Para controlar esta variación de demanda energética (DR), se utilizan dos estrategias, incentivos, que alientan a los clientes a consumir, y la variación de tarifas, las cuales son mayores en horas pico y menores en horas valle

Para el año 2050 al menos el 65% del transporte podría ser eléctrico, y a medida que esta industria aumente, los precios de estos automóviles y de sus baterías tenderán a disminuir, volviéndose mas accesibles. Si se incluye un sistema de carga de baterías inteligente a los vehículos, su vida útil sera mayor e incrementaran la eficiencia de demanda energética en las estaciones de carga gracias a la información proporcionada por el sistema.

Otras estrategias a la hora de responder a las demandas energéticas es permitirles a los operarios del sistema controlar los dispositivos eléctricos directamente, como calefacción y ventilación de aires acondicionados (HVACs) durante periodos picos. Estos esquemas incluyen un control directo de carga (DLC) y un servicio interrumpible/restringible (I/C).

Según el consejo americano para una economía energética eficiente (ACEEE), el promedio de ahorro para los programas DR es del 10%, el cual se lograría si las empresas de servicios públicos y los responsables de políticas públicas logaran la reducción del consumo de energía. Para alcanzar este porcentaje, reunir a las empresas y a los encargados de formulaciones de políticas permitirá que los programas de DR sean más aceptados por los consumidores.

El internet de las cosas, inventado en 1999, representa a muchos dispositivos que están conectados a una red, típicamente, a internet. Esto abarca las categorías de dispositivos móviles, automóviles, electrodomésticos y la automatización del hogar con el propósito de "hacer la vida de sus usuarios más conveniente". El IoT se puede aprovechar junto con la inteligencia artificial para analizar tendencias en los datos y optimizar la forma en que se utilizan los dispositivos para promover prácticas más sostenibles y eficientes.

## Conclusión

En conclusión podemos decir que el sistema de red eléctrico tal y como lo conocemos hoy en día, no podría ser reemplazado completamente con nuevas energías debido a la dispersión que estas presentan, pero mediante la implementación de distintas herramientas, como la curva de pato, se podría apoyar a la central generadora con energías limpias y cuando estas no sean tan requeridas, almacenarlas. Además se han determinados métodos de cálculo como el LCOE que permite determinar tan redituable sería este cambio. Por último vemos que los avances en otras tecnologías tienen una gran repercusión en el uso y eficiencia de energías renovables

## **Referencias**

Alumno revisor: Victoria Palma Cieri