

# Redes eléctricas inteligentes en contexto

Redes eléctricas inteligentes: el camino a la eficiencia energética. En este escrito, un detalle acerca del contexto energético actual desde el cual abordar la necesidad e inserción de redes eléctricas inteligentes.

Dr. Ing. Patricio G. Donato  
pgdonato@conicet.gov.ar

Dr. Ing. Marcos A. Funes  
mfunes@fi.mdp.edu.ar

Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en  
Electrónica (ICYTE)  
CONICET  
Universidad Nacional de Mar del Plata

El modelo de red eléctrica convencional consolidado durante el siglo XX sostuvo el crecimiento y desarrollo de buena parte del mundo durante dicho periodo. Sin embargo, hacia el final comenzó a mostrar síntomas de agotamiento debido al aumento constante de la demanda de energía, por un lado, y la contaminación ambiental asociada a la generación, por otro. La demanda mundial de energía eléctrica ha aumentado en forma sostenida durante varias décadas, y continuará haciéndolo en los próximos años, impulsada tanto por el crecimiento de la población como por la necesidad de satisfacer la creciente dependencia de la sociedad respecto de la electricidad (figura 1). Según las perspectivas de la International Energy Agency (IEA), plasmadas en el World Energy Outlook de 2020, el consumo mundial de energía aumentará a un ritmo de poco más del 1% anual, lo cual significa que para el año 2050 el consumo mundial de energía crecerá más de 30% respecto del valor registrado en 2019, una magnitud equivalente a la demanda energética actual de China e India.

---

*La demanda mundial de energía eléctrica ha aumentado en forma sostenida durante varias décadas, y continuará haciéndolo en los próximos años*

---

El aumento de la demanda no solo se explica por el consumo de los países y sociedades que ya disfrutan y hacen uso de ese vector energético, sino también por aquellos que aún no cuentan con el servicio, pero que sí lo harán en los próximos años. Según los datos recolectados por el programa Energía Sustentable para Todos (SE4ALL, por sus siglas en inglés), de la ONU, en 2019 todavía había más de 750 millones de personas sin acceso a la electricidad, principalmente en África (figura 2). La tendencia histórica es que, con mayor o menor velocidad, buena parte de esos millones de personas se van a sumar al consumo de electricidad en el curso de esta década. Si bien lo harán en una proporción mucho menor que la

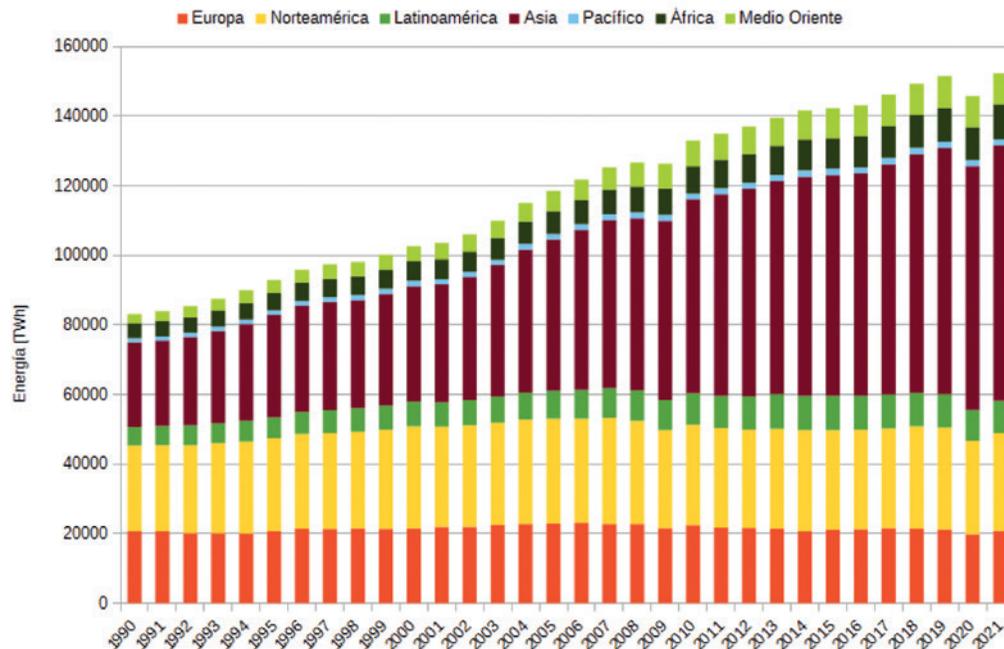


Figura 1. Consumo total de energía a nivel mundial discriminado por continentes y regiones, de acuerdo a las estadísticas de la IEA. Exceptuando el bienio 2020-2021, por los efectos de la pandemia de COVID-19 (confinamientos, restricciones de movilidad, caída de la actividad económica), y alguna crisis financiera específica, como la de 2008-2009, la tendencia de la demanda ha sido siempre alcista.

de las sociedades de consumo más desarrolladas, su efecto no será despreciable.

La respuesta más inmediata a esta creciente, y aparentemente imparable, demanda de energía eléctrica es instalar nuevas unidades de generación basadas en los combustibles fósiles tradicionales (carbón, petróleo y gas natural). Sin embargo, estas tienen un fuerte impacto en la contaminación, ya que son responsables de buena parte de las emisiones de dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático. Entre los tres combustibles fósiles mencionados, el gas natural es el que presenta el menor impacto medioambiental debido a la alta proporción de hidrógeno-carbono de sus moléculas, lo cual se refleja en aproximadamente un 40% de reducción de emisiones con respecto al carbón y un 25% respecto de las del fuel-oil. Debido a esto, y la rentabilidad económica del recurso, se ha recurrido a la instalación de este tipo de centrales de generación de elec-

tricidad en forma masiva y en todos los rincones del mundo. En el caso de Argentina, se observa el mismo comportamiento desde comienzos del siglo XXI (figura 3).

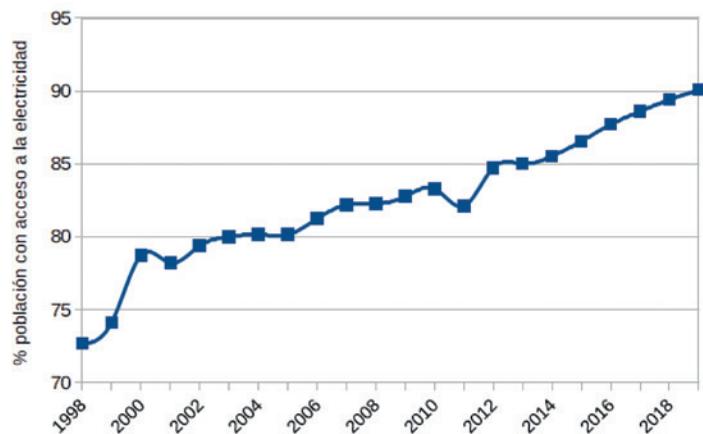


Figura 2. Según el programa Sustainable Energy for All (SE4ALL), de la ONU, en 2019 todavía había 9,92% de la población mundial que no tenía acceso a la electricidad.

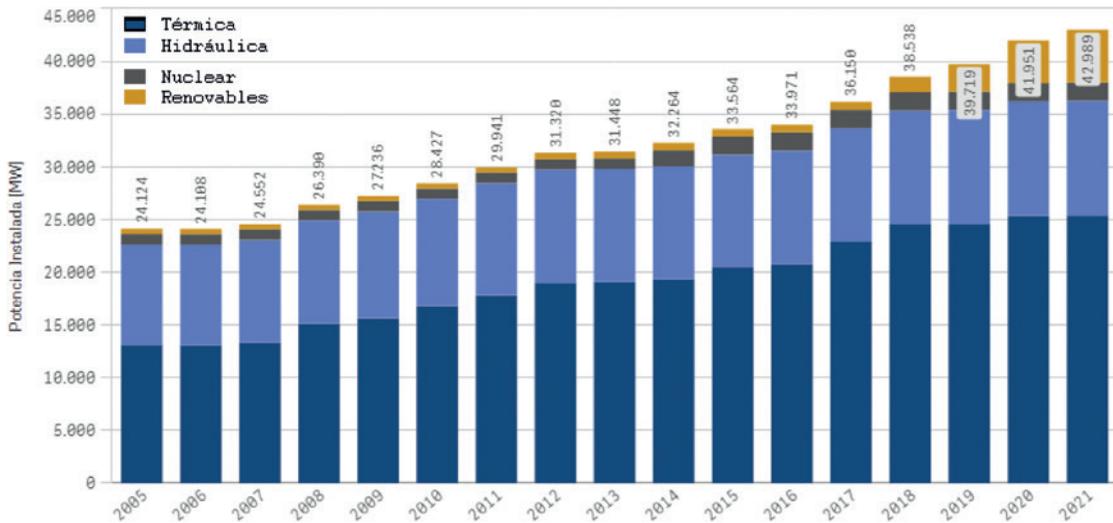


Figura 3. Potencia total instalada para la generación de electricidad en la República Argentina (datos de 2021 de CAMMESA)

*El cambio climático ha impulsado el desarrollo e implementación de sistemas de generación eléctricos basados en fuentes de energía renovables*

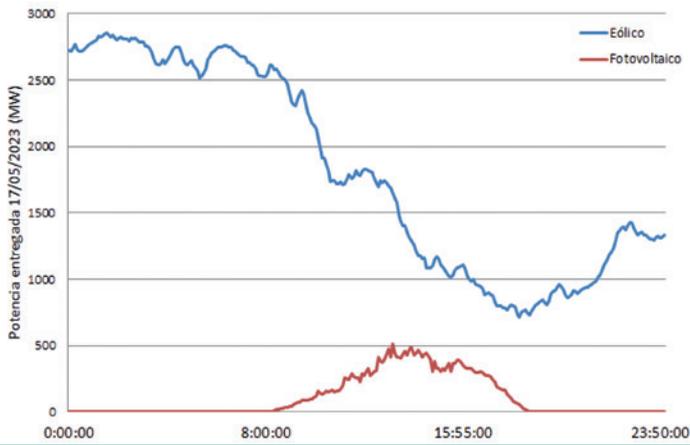


Figura 4. Potencia entregada por los sistemas de generación eólicos y fotovoltaicos en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI) el día 27 de mayo de 2023. Se puede apreciar que en un intervalo de tiempo de un día, la potencia entregada por generadores eólicos sufrió variaciones mayores al 70%, mientras que la generación fotovoltaica no muestra su tradicional perfil de campana. (Datos de 2023 de CAMMESA).

El cambio climático ha impulsado el desarrollo e implementación de sistemas de generación eléctricos basados en fuentes de energía renovables que no producen emisiones ni desechos contaminantes. Estas fuentes de energía pueden satisfacer el incremento en la demanda de energía eléctrica e incluso reemplazar una buena parte de las fuentes de generación no renovable que existen actualmente. Sin embargo, el aumento de la participación de las fuentes de energías renovables en la matriz energética acarrea nuevos desafíos, que van desde cuestiones económicas hasta de impacto ambiental o disposición final de los residuos una vez terminada la vida útil de los equipos. Uno de los desafíos técnicos más importantes que presentan estas fuentes de energía es la variabilidad del recurso energético, que depende de la meteorología, como es el caso del viento y la luz solar, o de los ciclos día-noche, para el caso de la luz solar (como se puede ver en la figura 4 para el caso de un día arbitrario). Si bien hoy en día los modelos climáticos permiten pronosticar con un margen de error tolerable cuál va a ser la velocidad del viento o la nubosidad con algunos días de anticipación, tales pronósticos no están exentos de errores e incluso fallos debi-

do a la presencia de factores imponderables. En consecuencia, si el incremento de la demanda de energía eléctrica se satisface solo con fuentes de energía renovables, podría haber problemas de intermitencia en el suministro futuro que afectarían a muchos usuarios.

---

*Existen numerosos informes y estudios al respecto que revelan que las pérdidas ocasionadas por las interrupciones del servicio eléctrico pueden alcanzar cifras millonarias*

---

Otra cuestión importante al momento de incorporar fuentes de energía renovables a la matriz energética es la disponibilidad geográfica del recurso. En el caso de Argentina, que es similar a muchas otras regiones del planeta, los principales recursos energéticos renovables se hallan en regiones distantes de los grandes centros de consumo. Por ejemplo, en el caso de la generación basada en energía eólica, la región con el mayor potencial es la Patagonia, mientras que la generación de energía solar fotovoltaica se concentra en la región de Cuyo y el NOA. En ambos casos, se trata de regiones con densidades de población muy bajas y distantes de los grandes cen-

tros de consumo, los cuales se concentran en la región metropolitana de Buenos Aires y la franja central del país.

De lo expuesto, cabe preguntarse qué ocurre cuando el sistema no puede proveer la energía que se demanda, ya sea por demandas anormalmente elevadas, por la intermitencia de los generadores basados en fuentes renovables o por fallos en la red. En esos casos, suelen producirse colapsos, apagones focalizados y/o deterioro en la calidad del servicio eléctrico en general. El impacto de estos eventos es mayormente económico, aunque también tiene consecuencias de orden social. Existen numerosos informes y estudios al respecto que revelan que las pérdidas ocasionadas por las interrupciones del servicio eléctrico pueden alcanzar cifras millonarias. En Estados Unidos, se estima que las pérdidas por interrupciones de suministro de duración mayor a un día, en el rubro de supermercados y mayoristas, va desde 30 mil dólares hasta 5 millones, según el volumen del comercio. En ese mismo país también se estima que el costo de una pérdida de suministro para un centro de cómputos es del orden de 8.851 dólares por minuto, lo cual resulta en más de 12 millones de dólares al día. Más allá del monto concreto de dinero, este mismo efecto se puede extrapolar a otros países desarrollados en forma casi lineal. En cuanto



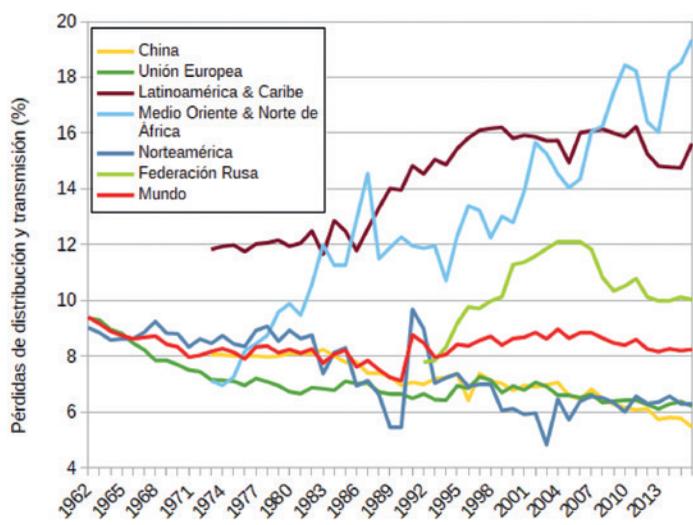


Figura 5. Pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica en diferentes regiones del mundo, según datos del Banco Mundial.

a aspectos no económicos, las interrupciones del servicio eléctrico tienen un impacto más complejo de cuantificar en el sector de la salud y la educación, entre otros.

*Según datos del Banco Mundial, las pérdidas totales en sistemas de transmisión y distribución [...] se encuentran en torno al 15% en la región latinoamericana*

Por último, también hay que tener en cuenta una problemática adicional que hace más complejo el contexto energético, que es la pérdida de energía del sistema eléctrico, la cual puede ser bastante elevada en ciertas regiones del mundo, incluyendo nuestro país. Según datos del Banco Mundial, las pérdidas totales en sistemas de transmisión y distribución, incluyendo tanto las denominadas técnicas (relacionadas con las deficiencias en la red) como las no técnicas (relacionadas con el fraude eléctrico y la energía no medida), se encuentran en torno al 15% en la región latinoamericana, trepando casi hasta el 20% en Medio Oriente y África (figura 5). A fin de en-

tender la magnitud de estos números, se puede comparar el porcentaje de pérdidas con el aumento de la demanda de energía. En un contexto donde la demanda aumenta a un ritmo de casi el 1% anual, es necesario incrementar la generación a un ritmo del 1,15%, para satisfacer la demanda más las pérdidas. En otras palabras, por cada 100 MW de generación que se incorporan al sistema, solo 85% llega a los clientes. Considerando, a modo de ejemplo, un parque eólico como el de Arauco II (La Rioja, Argentina), que tiene 100 MW de potencia nominal, esto significa que 15 MW son para cubrir pérdidas, o sea que hay seis aerogeneradores de 2,5 MW que nunca van a entregar potencia a un cliente. ■

Nota de la Edición

Este artículo forma parte de una serie titulada "Redes eléctricas inteligentes: el camino a la eficiencia energética" elaborada por los mismos autores especialmente para AADECA y Editores SRL en base a la presentación que llevaron a cabo en el marco del encuentro AADECA 2023.

Las serie está conformada por los siguientes artículos:

- Redes eléctricas inteligentes en contexto
- Medidores y funciones de las redes eléctricas inteligentes
- Redes eléctricas inteligentes: situación en el mundo y en Argentina

- Redes eléctricas inteligentes: ¿qué hacer?