

# Transición

## ENERGÉTICA

Junio - Julio 2024 | Número 12

### Planeación de Expansión del Sistema Eléctrico Nacional



■ PEGyT, herramienta para el análisis prospectivo de los sistemas eléctricos de generación y transmisión

■ Digitalización para la transición energética

■ Colaboración INEEL-PEMEX

■ Sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de flujo

**Revista**  
**Transición Energética**  
Julio 2024

**Comité Editorial**

Georgina Izquierdo Montalvo

Editora

Elsa Orduña Mercado

Coeditor

Luis Domínguez Brito

Diseño y Sitio Web

Arturo Frago Malacara

M. Giovanni Uribe Figueroa

Johana L. Hernández Ortiz

Luis Domínguez Brito

Vicente Valera Aldana

*Transición Energética*, año 2024, número 12, junio-julio; es una publicación bimestral editada por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), Reforma 113, colonia Palmira, C.P. 62490, Cuernavaca, Morelos, México. Tel. 52 (777) 362 3811.

Los artículos firmados son responsabilidad de sus autores.

[www.gob.mx/ineel](http://www.gob.mx/ineel)  
[www.transicionenergetica.ineel.mx](http://www.transicionenergetica.ineel.mx)  
[revistatransicione@ineel.mx](mailto:revistatransicione@ineel.mx)

# Carta editorial

## Estimadas lectoras y lectores:

El tema central de esta edición es la **Planeación de Expansión del Sistema Eléctrico Nacional**. En nuestra sección, **“Ciencia al Descubierto”** destacamos, el artículo: PEGyT, herramienta para el análisis prospectivo de sistemas eléctricos de generación y transmisión. Este sistema es una herramienta para el análisis prospectivo de la generación eléctrica; la cual propone planes de expansión para el sistema eléctrico, de recursos de generación convencional, renovable intermitente, medios de almacenamiento de energía y refuerzos de capacidad en la red troncal de transmisión.

La transición energética busca reemplazar gradualmente los combustibles fósiles (como el carbón, petróleo y gas) por fuentes de energías limpias y sostenibles, como solar, eólica e hidroeléctrica entre otros, para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y avanzar hacia la sustentabilidad. En el artículo: Digitalización para la transición energética, encontrarás más información sobre este cambio.

Se presenta la colaboración que el INEEL, desde hace 30 años, ha desarrollado con PEMEX Exploración y Producción (PEP) en sus instalaciones eléctricas, buscando alternativas de mejora acordes con los procesos productivos, con la finalidad de que sean seguros, flexibles y confiables, reduciendo los riesgos de accidentes que dañen al personal, medio ambiente e instalaciones en su conjunto.

Un tema crucial en la transición energética es sin duda, el almacenamiento de energía, ante la intermitencia de las fuentes de energía renovable. La posibilidad de almacenar energía permite equilibrar la oferta y demanda, la estabilidad de la red eléctrica y reducir la dependencia de fuentes de energía fósil. Conoce más de estos interesantes temas en la sección **“Desarrollo tecnológico”**.

En **La Infografía**, se muestran desarrollos de prototipos para almacenamiento de energía de larga duración, mediante tecnologías electroquímicas de bajo costo, para integración de energía renovable en la Red Eléctrica Nacional.

Esperamos que disfrutes esta edición, en la cual se destacan desarrollos que permiten dar certidumbre y fuerza a la tecnología mexicana, incentivando la inversión pública y privada.

Atentamente, el equipo editorial de la Revista Transición Energética.

# Contenido

## 02 Ciencia al descubierto

→ PEGyT, herramienta para el análisis prospectivo de sistemas eléctricos de generación y transmisión...02

## 10 Desarrollo tecnológico

→ Digitalización para la transición energética...10

→ Colaboración INEEL-PEMEX...14

→ Sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de flujo...19

## 20 La infografía





# **PEGyT, herramienta para el análisis prospectivo de sistemas eléctricos de generación y transmisión**



El sistema para la planeación de la expansión de los medios de generación y transmisión (PEGyT) es una herramienta para el análisis prospectivo de la generación eléctrica; la cual propone planes de expansión para el sistema eléctrico, de recursos de generación convencional, renovable intermitente, medios de almacenamiento de energía y refuerzos de capacidad en la red troncal de transmisión. Como función adicional se identifica la capacidad de generación que, por su baja eficiencia económica, puede ser considerada dentro de programas de retiro. El sistema PEGyT tiene la capacidad de cuantificar, en términos de costos incurridos, las ventajas y desventajas de los programas de expansión de la generación que son capaces de satisfacer las metas de producción a través de energías limpias establecidas en la Ley de la Transición Energética del país, evaluando la utilización de los combustibles fósiles y su impacto al medio ambiente; e identificando los recursos de generación que brindarán la flexibilidad operativa y la reserva. Se presentan las características generales de la versión actual del sistema PEGyT.

## Introducción

El sistema PEGyT fue desarrollado por la Gerencia de Análisis de Redes del Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) para la Comisión Federal de Electricidad (CFE), como una herramienta de apoyo para la preparación de la estrategia de expansión de la infraestructura de generación y transmisión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

El PEGyT ha demostrado ser una herramienta fundamental de soporte en el proceso de la planeación a largo plazo de los sistemas eléctricos, manteniéndose a la vanguardia de sus competidores debido a su diseño adecuado para el SEN y especialmente por sus constantes actualizaciones, que se desarrollan en concordancia con la evolución tecnológica y de las políticas públicas que impactan en la expansión del SEN.

## Versión actual del sistema PEGyT

Esta versión, entregada a CFE en 2023, fue diseñada con el fin de incrementar las funcionalidades de la herramienta. Se actualizó la plataforma tecnológica del sistema y se desarrollaron extensiones al modelo matemático y a la metodología de solución, incluyendo la implementación de nuevos módulos que permiten extender la productividad y la calidad de sus resultados. Las mejoras se listan a continuación.

### a. Expansión de recursos renovables y medios de almacenamiento.

El PEGyT cuenta con una formulación que optimiza la expansión de los recursos de generación convencional y renovable, así como de los sistemas de almacenamiento de energía (SAE); determinando la cantidad, tipo y ubicación de la capacidad que se requiere instalar; así como el momento más oportuno.

Los recursos de generación renovable se modelan conforme a sus características particulares de potencial regional e intermitencia expresada en disponibilidad energética horaria; lo que permite identificar los recursos disponibles que pueden brindar los requerimientos de flexibilidad operativa del sistema eléctrico de potencia que se esté analizando.

Para los SAE, el PEGyT determina cuándo deben almacenar energía y cuándo funcionar como generadores, respetando la capacidad de energía que puede ser almacenada o entregada a la red por hora y considerando las relaciones de eficiencia que relacionan la energía que entra/sale del SAE y la que entrega/recibe la red.

### b. Optimización del programa de retiros de capacidad.

Se evalúa la aportación de cada una de las unidades que conforman el parque de generación existente a los costos de operación y a la reserva requerida, para identificar como parte del proceso de optimización, a las unidades que pueden ser retiradas del sistema debido a su baja eficiencia operativa y económica.

### c. Conectividad hidráulica de embalses en cascada.

Las mejoras al modelado del PEGyT incluyen la consideración de la conectividad hidráulica de los embalses ubicados en las cuencas del país para obtener simulaciones más realistas de la generación hidroeléctrica.

### d. Procesamiento en paralelo.

Entre las mejoras metodológicas se encuentra la redefinición del código para que su algoritmo aproveche el procesamiento en paralelo, elevando la productividad por el uso de más procesadores.

### e. Nueva interfaz de usuario.

Para mantener la competitividad del PEGyT se realizaron mejoras a la interfaz de usuario permitiendo su ejecución exhaustiva, la definición amigable de casos de estudio y la explotación expedita de resultados; todo esto, en ambientes de computación modernos y el uso de esquemas de base de datos actuales como *Oracle* y *SQLite*.

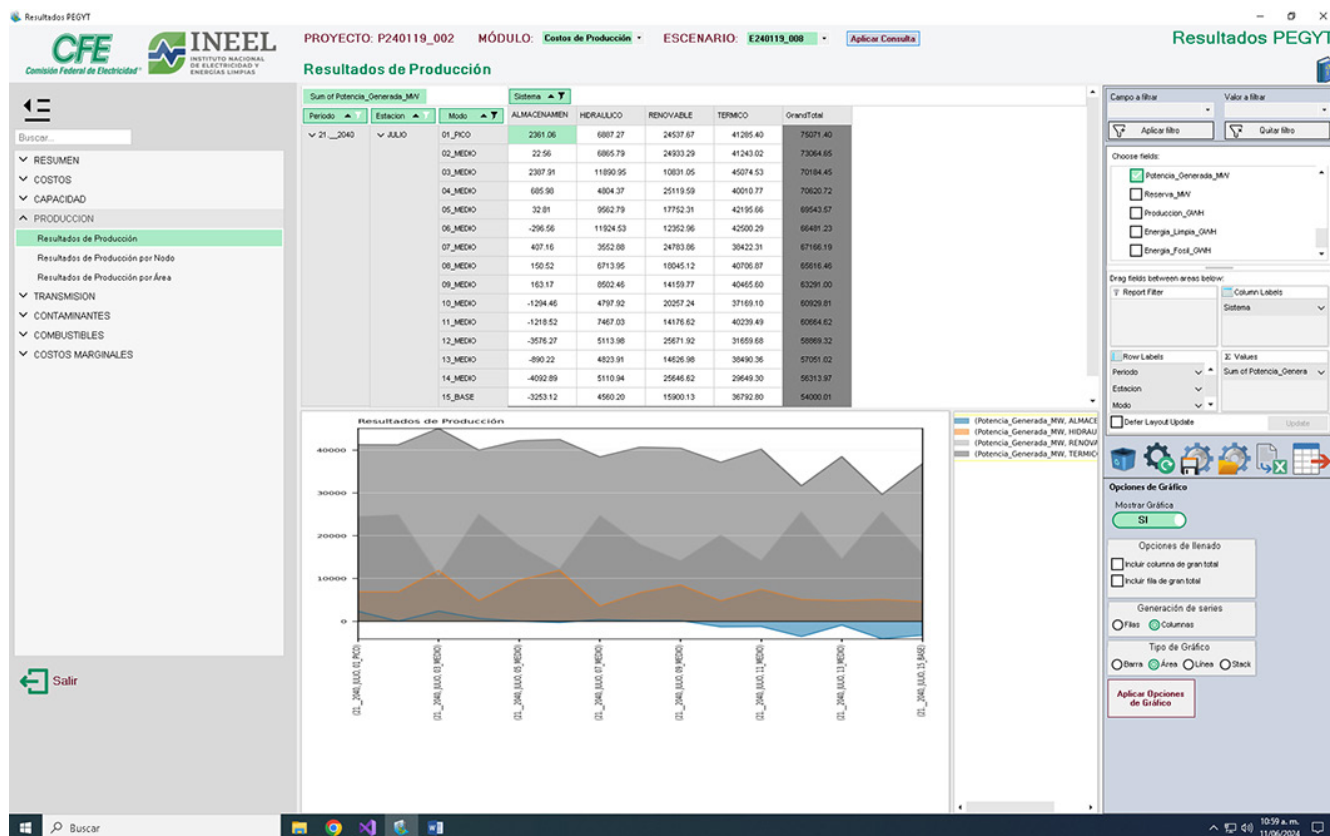


Figura 1. Aspecto de la interfaz gráfica de resultados.





#### f. Módulo de costos de producción.

Este módulo ofrece resultados detallados de los costos de producción para horizontes a muy largo plazo. La metodología considera resolver la optimización de la producción eléctrica analizando la problemática horaria y las diferencias mensuales y estacionales de la demanda y de la disponibilidad energética para un horizonte de 20 años o más.

#### g. Módulo para la caracterización de la curva de demanda y de la operatividad de renovables.

La modelación de la intermitencia de las fuentes de generación renovable va de la mano con la modelación de las condiciones cambiantes horarias de la demanda. El módulo de renovables es una funcionalidad independiente del PEGYT que utiliza la técnica de clustering “K-Medias Ponderado” para identificar las correlaciones horarias entre la demanda y la operación renovable; a fin de modelar de

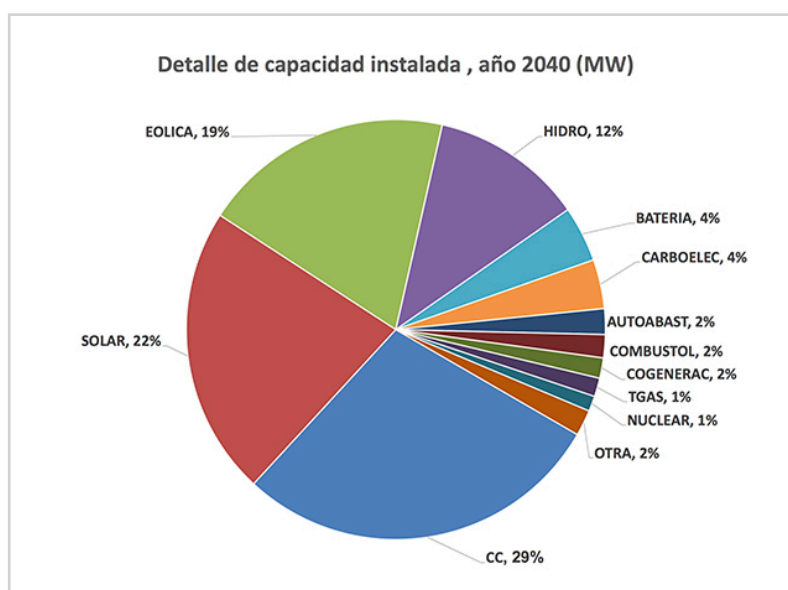
manera más precisa los factores de planta horarios en concordancia con la curva de demanda.

#### h. Módulo de acotamiento de riesgos (AR).

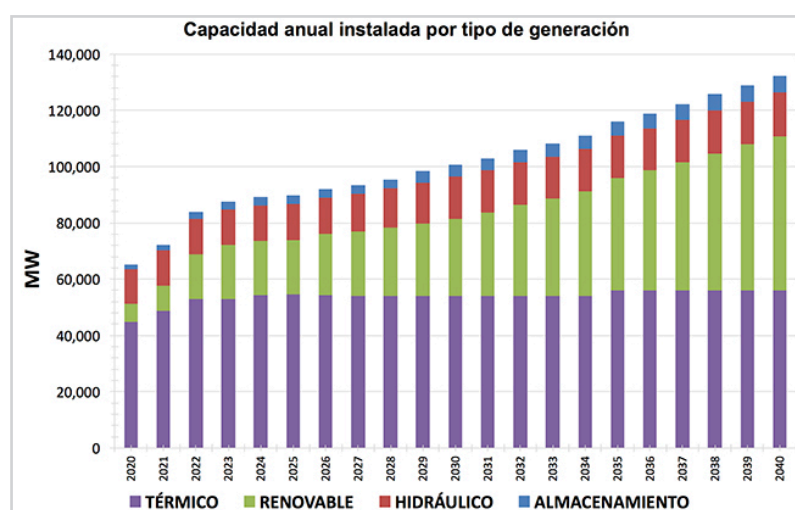
El módulo AR es una funcionalidad estocástica, independiente del PEGYT, que permite el análisis cuantitativo de los riesgos económicos por efecto de la incertidumbre de los precios de los combustibles que afectan directamente la composición de la mezcla tecnológica óptima para la expansión del sistema. La metodología utilizada se apoya en el planteamiento de diversos problemas de optimización, cuyas soluciones contribuyen a determinar el plan de menor riesgo económico; determinando, además, las fronteras eficientes conformadas por los planes de expansión con la mayor eficiencia económica posible para cada nivel de riesgo, expresados en términos del máximo arrepentimiento (criterio de decisión bajo incertidumbre de Savage).

## Ejemplo de resultados

La interfaz de usuario permite visualizar en forma gráfica algunos de los resultados de los planes de expansión obtenidos por el PEGyT, especialmente los relativos a la instalación de capacidad de generación y transmisión, costos de inversión y de operación, consumos de combustibles, participación de las energías limpias; así como el detalle de operación de cada uno de los generadores instalados por grupo de horas de cada mes de cualquier año del horizonte de estudio. Algunos ejemplos de dichos resultados se muestran en las figuras 2 y 3.



**Figura 2. Propuesta de capacidad instalada al año 2040.**



**Figura 3. Evolución de la capacidad instalada.**

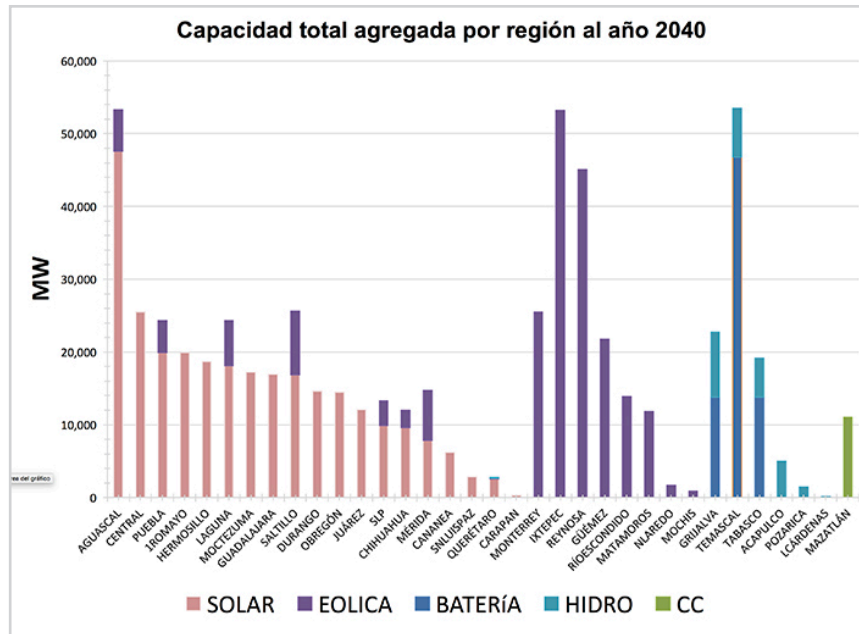
La Figura 2 muestra un resumen de la capacidad instalada total en el año 2040, que corresponde con la capacidad existente y la propuesta por PEGyT para una expansión hipotética del SEN, que considera una meta de generación eléctrica a través de energías limpias del 44%. El PEGyT presenta como resultados: cantidad, capacidad, tipo de tecnología y localización regional de las unidades a instalar; así como el momento preciso en que dichas unidades deberían entrar en operación. Como refuerzos del sistema eléctrico se consideran las adiciones de generación convencional (térmica e hidráulica), recursos renovables intermitentes, sistemas de almacenamientos de energía y líneas de transmisión.

La Figura 3 representa la evolución del sistema de generación observándose un incremento importante de generación renovable y la incorporación de sistemas de almacenamiento de energía en los últimos años del horizonte de planeación. Para este caso hipotético, para el año 2040 se propone un plan con una participación del 42.4% de capacidad térmica, 41.6% de capacidad renovable, 11.7% de capacidad hidráulica y 4.3% de capacidad correspondiente a sistemas de almacenamiento de energía.

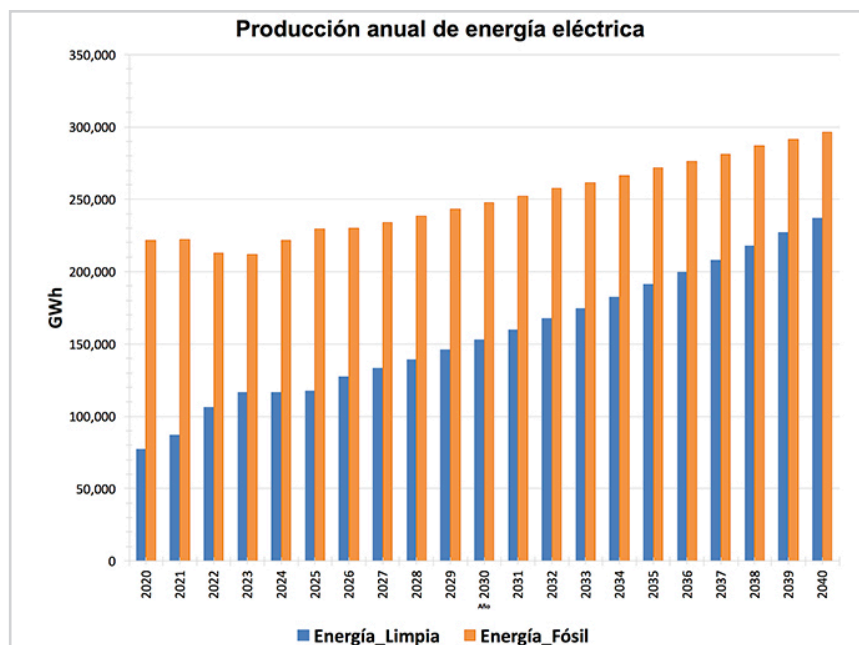


Respecto a la capacidad de generación que el PEGyT propone, la Figura 4 muestra dicha capacidad acumulada hasta el año 2040, observándose una gran proliferación de generación renovable: solar (46%) y eólica (35%) impulsadas por la meta de generación a través de energías limpias.

La Figura 5 muestra la contribución de las fuentes de energías limpias y fósiles a la producción de energía eléctrica; considerando que dichas proporciones son suficientes para satisfacer la meta preestablecida de generación a través de energías limpias.



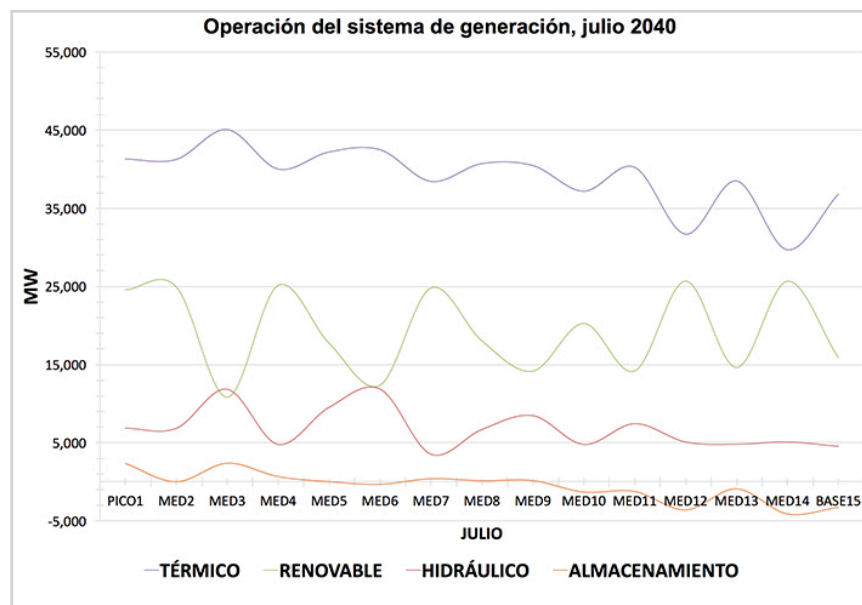
**Figura 4. Capacidad por región al año 2040.**



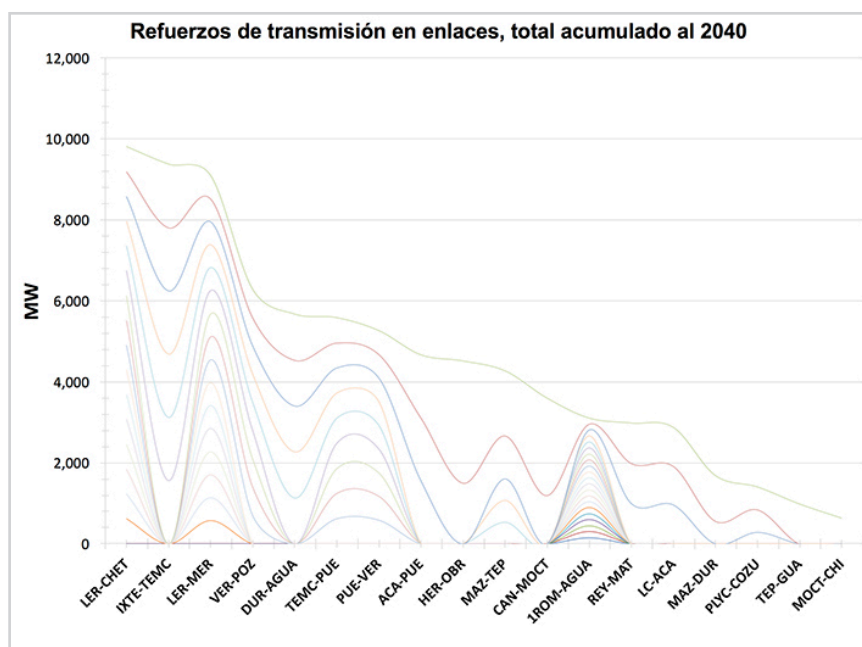
**Figura 5. Producción de energía eléctrica: fuentes limpias vs. fósiles.**

La Figura 6 ilustra el detalle operativo en julio del 2040 de la generación térmica, hidráulica, renovable y del almacenamiento. Se observa que la intermitencia de la generación renovable es atendida principalmente por generación hidráulica y en menor medida por generación térmica. Mientras que el almacenamiento aprovecha los momentos de baja demanda (base) para almacenar energía, preferentemente renovable y devolverla a la red en las horas de mayor demanda (pico).

La Figura 7 muestra los refuerzos acumulados de transmisión hasta el año 2040, siendo los enlaces entre las regiones de Lerma-Chetumal, Ixtepec-Temascal y Lerma-Mérida quienes requirieron de un mayor reforzamiento de capacidad.



**Figura 6.** Detalle operativo en julio 2040.



**Figura 7.** Refuerzos de transmisión por enlace.



## Conclusiones

La aparición de nuevas tecnologías y los cambios regulatorios orientados a una transición energética requieren mantener actualizadas las herramientas prospectivas, con la finalidad de configurar de la manera más exacta posible las características operativas particulares de todos los recursos de generación disponibles.

Las actualizaciones implementadas en la nueva versión del sistema PEGyT, contribuyen a la planeación estratégica del SEN, alineado con los postulados de la transición energética de México, enfatizando la expansión ordenada de energías limpias y generación convencional con sustentabilidad, seguridad y soberanía energética.

El PEGyT es una herramienta importante en el proceso de la planeación de largo plazo de los sistemas eléctricos, manteniéndose a la vanguardia por sus constantes actualizaciones que propician un diseño adaptado para el sistema eléctrico mexicano, en concordancia con la evolución tecnológica y de las políticas públicas que impactan en su expansión.

---

**Autores:** Julio A. Hernández Galicia, [hgalicia@ineel.mx](mailto:hgalicia@ineel.mx)  
Elí De la Torre Vega, [etv@ineel.mx](mailto:etv@ineel.mx)

# Desarrollo tecnológico



## Digitalización para la transición energética

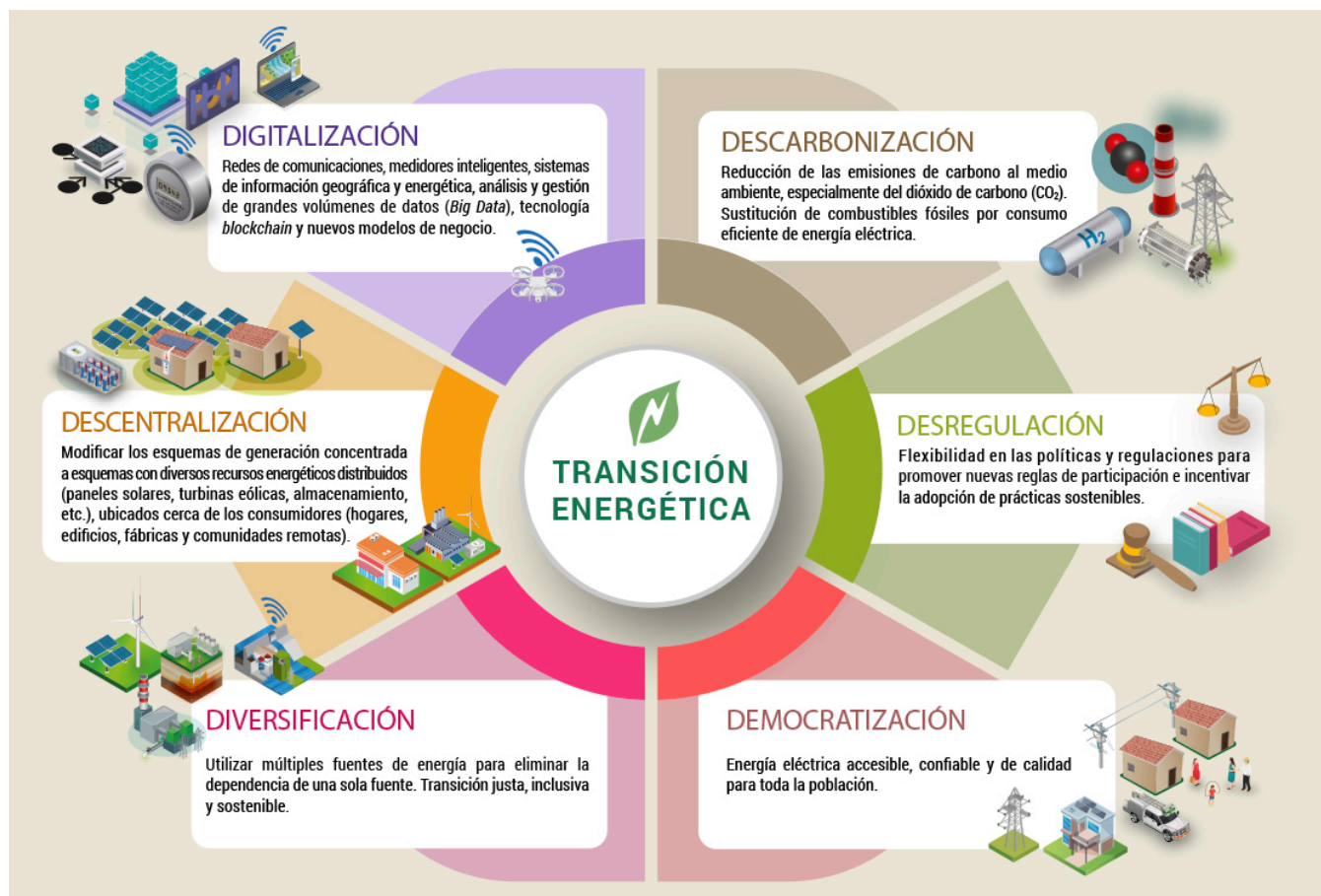
Las señales del cambio climático global son cada vez más evidentes, diversos estudios demuestran las modificaciones que se están teniendo y las que se podrían presentar si no se toman acciones efectivas para su mitigación. En este sentido se ha identificado la necesidad de cambiar, lo antes posible, la forma en que generamos, transmitimos y consumimos energía, tanto eléctrica, como de cualquier otra naturaleza.

La transición energética busca reemplazar gradualmente los combustibles fósiles (como el carbón, petróleo y gas) por fuentes de energías limpias y sostenibles, como solar, eólica e hidroeléctrica. Esta transición es pieza fundamental para reducir emisiones de gases de efecto invernadero al

medio ambiente y lograr un futuro más sostenible para las generaciones futuras.

La gran mayoría de los países ya han alcanzado acuerdos sobre cómo y cuándo aplicar medidas de mitigación, de forma escalonada, firme e inexorable.

Para mantener un avance ordenado, cada país utiliza lo mejor de la tecnología, para apoyar políticas públicas formuladas con base en acuerdos internacionales. En este sentido, las acciones son de diversa índole y enfoque, pero sobresalen 6 megatendencias que contribuyen al futuro del sector energético y la transición energética, se conocen como las “6 D”, como se muestra en la figura 1:



Fuente: Elaboración propia con información de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

**Figura 1. Megatendencias para la transición energética.**



La digitalización promueve sistemas energéticos sostenibles, seguros y confiables; facilita la adopción de nuevas fuentes de energías renovables y permite una mejor participación de los consumidores finales. Por ejemplo: redes y microrredes eléctricas inteligentes, electromovilidad para reemplazar el consumo de fuentes de energía fósiles por consumo de energía eléctrica, medidores inteligentes para mejorar la gestión del consumo de energía en el hogar, sistemas de información geográfica sobre la infraestructura energética y tecnología *blockchain* utilizada en contratos inteligentes y transacciones seguras.

Es importante reconocer, planear y atender los riesgos asociados a la transformación digital, tales como vulnerabilidades asociadas a seguridad de los sistemas digitales, capacidad de adquisición y procesamiento de datos, actualización constante, capacitación especializada y resiliencia al cambio.

El Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) ha tenido un papel relevante en los procesos de digitalización en el sector energético nacional. Desde hace varias décadas se trabaja en el desarrollo y adopción de tecnologías digitales para contar con procesos ciberfísicos como los mostrados en la figura 2. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Sistemas de adquisición y análisis de datos.
- Sistemas de monitoreo y predicción de eventos.
- Dispositivos de medición y control.
- Sistemas para la automatización de procesos industriales.
- Sistemas con capacidad de aprendizaje y pronóstico.

**Figura 2.** Digitalización del sector energético en México.

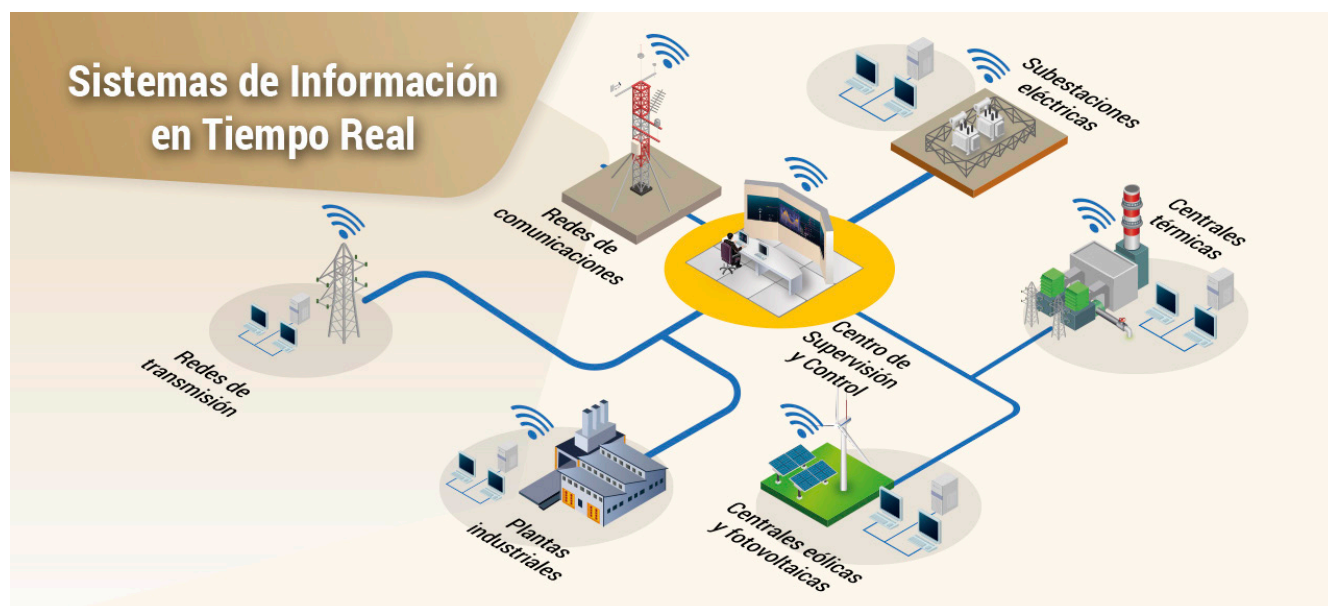


Como ejemplo, las funciones para la Red Eléctrica Inteligente (REI) tienen su fundamento en la disponibilidad de información digitalizada de los procesos productivos, operativos y de negocio. El INEEL ha desarrollado una serie de productos asociados a la REI, entre los más relevantes se destacan:

- ➔ Unidad Central Maestra para centros de control y subestaciones eléctricas.
- ➔ Simulador de redes eléctricas de distribución.
- ➔ Sistema de medición de consumo de energía eléctrica en baja tensión.
- ➔ Dispositivos de monitoreo y control de aparatos electrodomésticos.
- ➔ Sistema de pronóstico de generación de parques eólicos.
- ➔ Simulador para entrenamiento de personal de operación de redes eléctricas de distribución.

En particular, para integrar funciones de alto valor para la REI en favor de la transición energética y aprovechar la digitalización actual y futura, se requiere de Sistemas de Información en Tiempo Real como los descritos en la figura 3, para que las empresas puedan realizar funciones de monitoreo, control y optimización de sus procesos productivos. El INEEL cuenta con especialistas para el desarrollo de estos sistemas de información de aplicación crítica, incluyendo desde medición de variables físicas, sistemas de comunicaciones, procesamiento, análisis y uso de información de alto nivel.

El futuro estará guiado por los datos y la digitalización es una de las acciones más difundidas para contar con información de alta velocidad y calidad para toma de decisiones estratégicas y operativas; lo cual permitirá implementar soluciones de mayor alcance e impacto para una adecuada transición energética local y global.



**Figura 3.** Esquema general de los Sistemas de Información en Tiempo Real.

**Autores:** Alfredo Espinosa Reza, [aer@ineel.mx](mailto:aer@ineel.mx)  
 Julio Cesar Montero Cervantes, [jcmc@ineel.mx](mailto:jcmc@ineel.mx)  
 Norma García Montoya, [ngarcia@ineel.mx](mailto:ngarcia@ineel.mx)

# Desarrollo tecnológico



## Colaboración **INEEL-PEMEX**

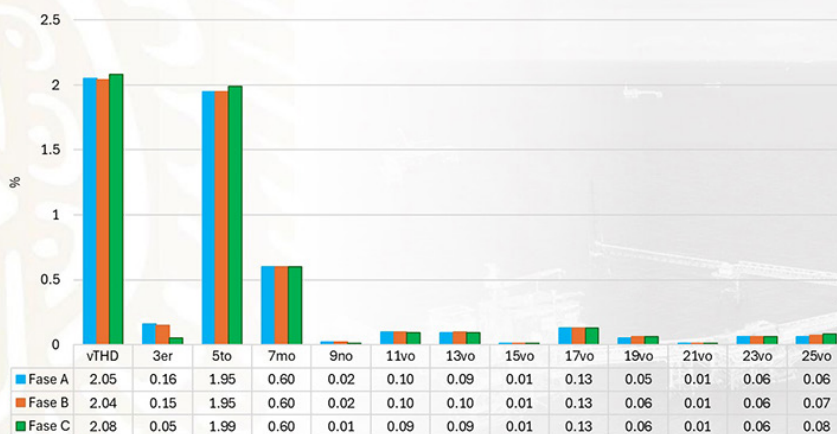


El Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) desde hace 30 años ha colaborado con PEMEX Exploración y Producción (PEP) en sus instalaciones eléctricas, buscando alternativas de mejora acordes con los procesos productivos, con la finalidad de que sean seguros, flexibles y confiables, reduciendo los riesgos de accidentes que dañen al personal, medio ambiente e instalaciones en su conjunto.

Actualmente, PEP mediante la Región Marina Noreste (RMNE) y el INEEL, a través de la Gerencia de Uso de Energía Eléctrica (GUEE), tienen un contrato cuya finalidad es evaluar los sistemas eléctricos en instalaciones marinas

de los activos de producción Cantarell y Ku Maloob Zaap de PEP; por tal motivo se lleva a cabo la elaboración de estudios eléctricos de cortocircuito, flujos de potencia, coordinación de protecciones, estabilidad del sistema eléctrico, protecciones no coordinables de transformadores y generadores, diagnóstico de fallas eléctricas, estudios de riesgo por arco eléctrico, pruebas y ajuste a dispositivos de protección; en varios casos se hace necesario evaluar diferentes escenarios de operación, además se realizan estudios eléctricos del análisis de calidad de la energía, de los sistemas de puesta a tierra, sistemas externos de protección contra tormentas eléctricas y estudios de clasificación de áreas peligrosas.

## Resultados de las mediciones de THD de voltaje

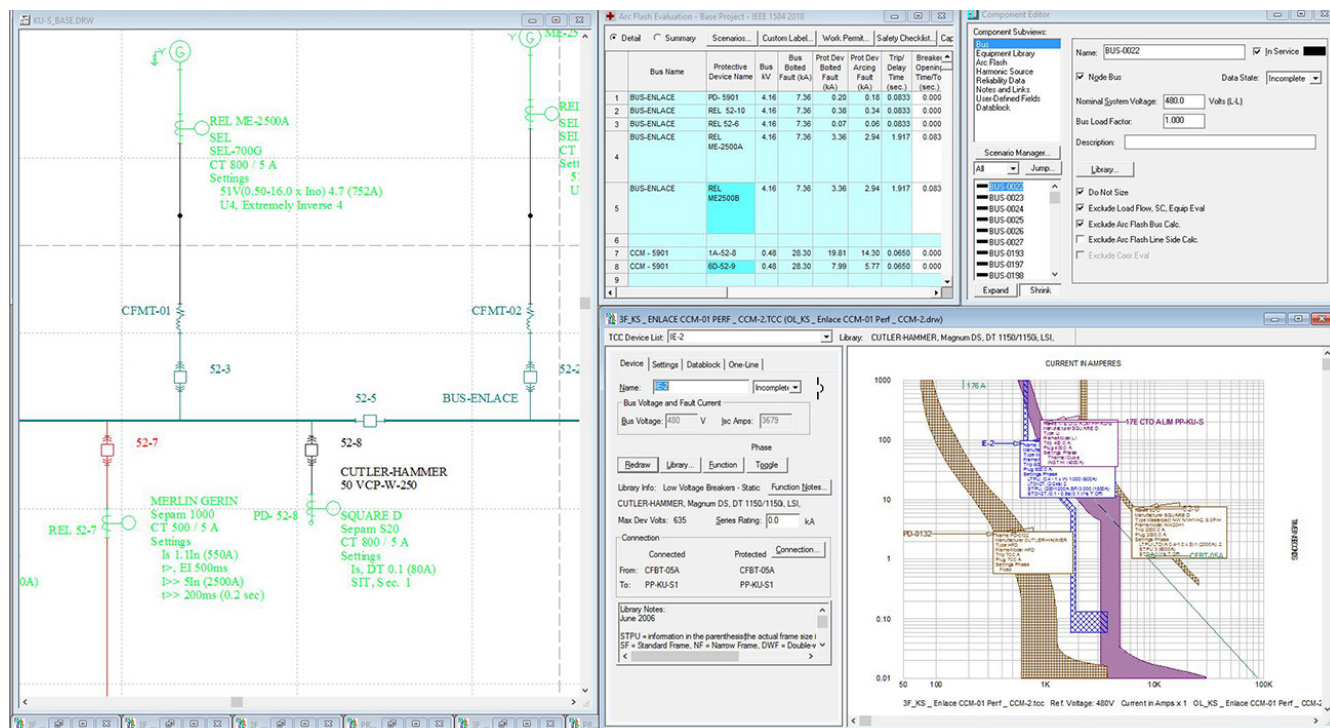


Análisis de la vTHD y sus armónicas individuales

El Std. ANSI/IEEE 519 indica que un valor menor que 5% de THD (Distorsión Armónica total) de voltaje está dentro del rango permitido de operación.

**Figura 1.** Mediciones de calidad de la energía en instalaciones petroleras.

Este proyecto, proporciona soporte técnico especializado a personal operativo y directivo de Pemex para solución de problemas complejos que se presentan en sus instalaciones eléctricas; aportando elementos de juicio para la toma de decisiones sobre los esquemas operativos, programas de mantenimiento del sistema eléctrico, reemplazo o actualización de equipos eléctricos. Los resultados del proyecto permitirá que las instalaciones cumplan con las normas de seguridad eléctrica aplicables, asegurar una operación continua y confiable del sistema eléctrico y de manera indirecta mejorar la continuidad y productividad de los procesos de la RMNE.



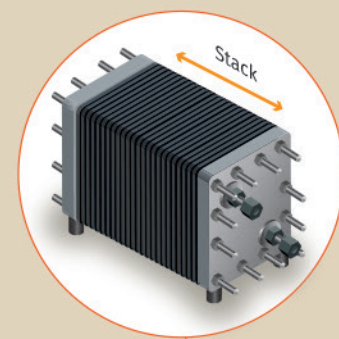
**Figura 2.** Cálculo de ajustes de protecciones de sobre corriente.

**Autores:** Saúl Rosas Romero, [saul.rosas@ineel.mx](mailto:saul.rosas@ineel.mx)  
 Eduardo Morales González, [emoraes@ineel.mx](mailto:emoraes@ineel.mx)  
 Eleazar Reyes Trujillo, [ereyes@ineel.mx](mailto:ereyes@ineel.mx)  
 Martín Roberto Maqueda Zamora, [maqueda@ineel.mx](mailto:maqueda@ineel.mx)  
 Pedro A. Domínguez Rivera, [padr@ineel.mx](mailto:padr@ineel.mx)

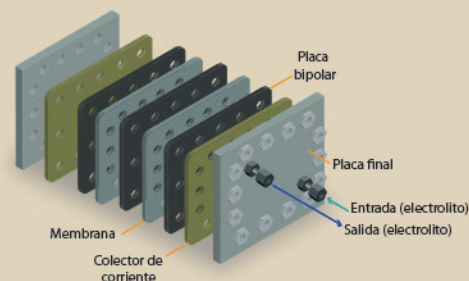
# Desarrollo tecnológico

## Baterías de flujo

**Tecnología** nacional con potencial de almacenar hasta **24 horas de energía** a **bajo costo** operativo y de inversión.



### Partes de un stack



## Sistemas de **almacenamiento de energía** basados en **baterías de flujo**

El almacenamiento de energía es crucial en el contexto actual debido a la transición hacia fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, que son intermitentes por naturaleza. La posibilidad de almacenar energía permite equilibrar la oferta y la demanda, mejorar la estabilidad de la red eléctrica y reducir la dependencia de fuentes de energía fósil. En términos generales, el almacenamiento de energía permite aprovechar al máximo las energías renovables garantizando un suministro constante y confiable.

El reto de México en materia de energías limpias y sus compromisos para reducir el impacto del cambio climático han dado lugar a una creciente necesidad de integración de grandes capacidades de almacenamiento de energía. Este almacenamiento es esencial para equilibrar el suministro eléctrico, atender los picos de demanda de energía y mantener la estabilidad de la red. Como consecuencia, se espera que la necesidad de almacenamiento de energía a gran escala crezca exponencialmente durante la próxima década.

Con respecto a las tecnologías electroquímicas, las baterías de iones de litio son actualmente la referencia tecnológica. Sin embargo, los precios de las baterías basadas en litio siguen siendo demasiado altos y sus tiempos de descarga son muy cortos para aplicaciones que permitan una integración más amplia y un mejor aprovechamiento de las energías renovables.

Una batería de flujo es un tipo de sistema de almacenamiento electroquímico en el que los materiales activos Redox están disueltos en líquidos. Los electrolitos cargados positiva y negativamente se almacenan en tanques separados para posteriormente ser llevados a un reactor electroquímico (celda/stack) que consta de arreglos de electrodos separados por una membrana semipermeable. La tecnología de baterías de flujo, hoy

en día, tiene como referente más conocido la química todo-vanadio. Este tipo de baterías han demostrado la factibilidad técnica de descargas largas de energía, pero se basan en materiales electrolíticos costosos, lo que hace incierto si serán económicamente competitivas para las aplicaciones de almacenamiento a escala de red.

- ➔ Baterías de flujo basadas en electrodiálisis: en este concepto, la energía se almacena mediante la disociación de soluciones de electrolitos salinos simples en sus correspondientes soluciones ácido y base, por medio de membranas de intercambio iónico de alto rendimiento. La principal innovación en este concepto se basa en la integración de membranas de intercambio iónico y soluciones electrolíticas de bajo costo.
- ➔ Baterías de flujo basadas en materiales orgánicos Redox activos: Esta tecnología busca evitar el empleo de metales caros, como el vanadio y se centra en la identificación de compuestos orgánicos Redox activos adecuados. Con base en cálculos químicos cuánticos de alto rendimiento, se sintetizan y evalúan una selección de moléculas orgánicas para su uso en baterías de flujo.



**Figura 1.** Prototipo de batería de flujo basada en electrodiálisis desarrollada en el INEEL.



El Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) es la institución líder para el desarrollo de ambas tecnologías, ya que cuenta con personal de más de 40 años de experiencia en investigación, innovación aplicada y desarrollo tecnológico. El consorcio formado por diversas instituciones nacionales como la UNAM-FQ, UNAM-FESC, Universidad de Guanajuato, Instituto Tecnológico de Tijuana, CENIDET y la Universidad Autónoma de Querétaro, han desarrollado capacidades en sus diferentes especialidades para los sistemas de almacenamiento de energía.

El impacto de este proyecto será significativo en varios aspectos: En primer lugar, se desarrollan los prototipos a escala intermedia, más de 1000 cm<sup>2</sup> de área activa, con un concepto modular que permite la integración de sistemas de hasta 100 kW. Además, un aspecto crucial del proyecto

se refiere a la capacitación de científicos e ingenieros mexicanos en la vanguardia de la investigación sobre almacenamiento de energía. Esto promueve la formación de ingenieros mexicanos altamente calificados para enfrentar los desafíos futuros en este sector, fortaleciendo así la capacidad del país para desarrollar tecnologías avanzadas.

Desarrollos como estos permiten dar certidumbre y fuerza a la tecnología mexicana, incentivando la inversión pública y privada en estos campos. Con ello, se crearán nuevas industrias y se generarán empleos que promoverán la riqueza, el bienestar para la sociedad y la protección del medio ambiente. El éxito del almacenamiento de energía limpia en nuestro país se traducirá en beneficios tangibles para la sociedad, consolidando a México como un líder en la adopción y desarrollo de tecnologías sostenibles.

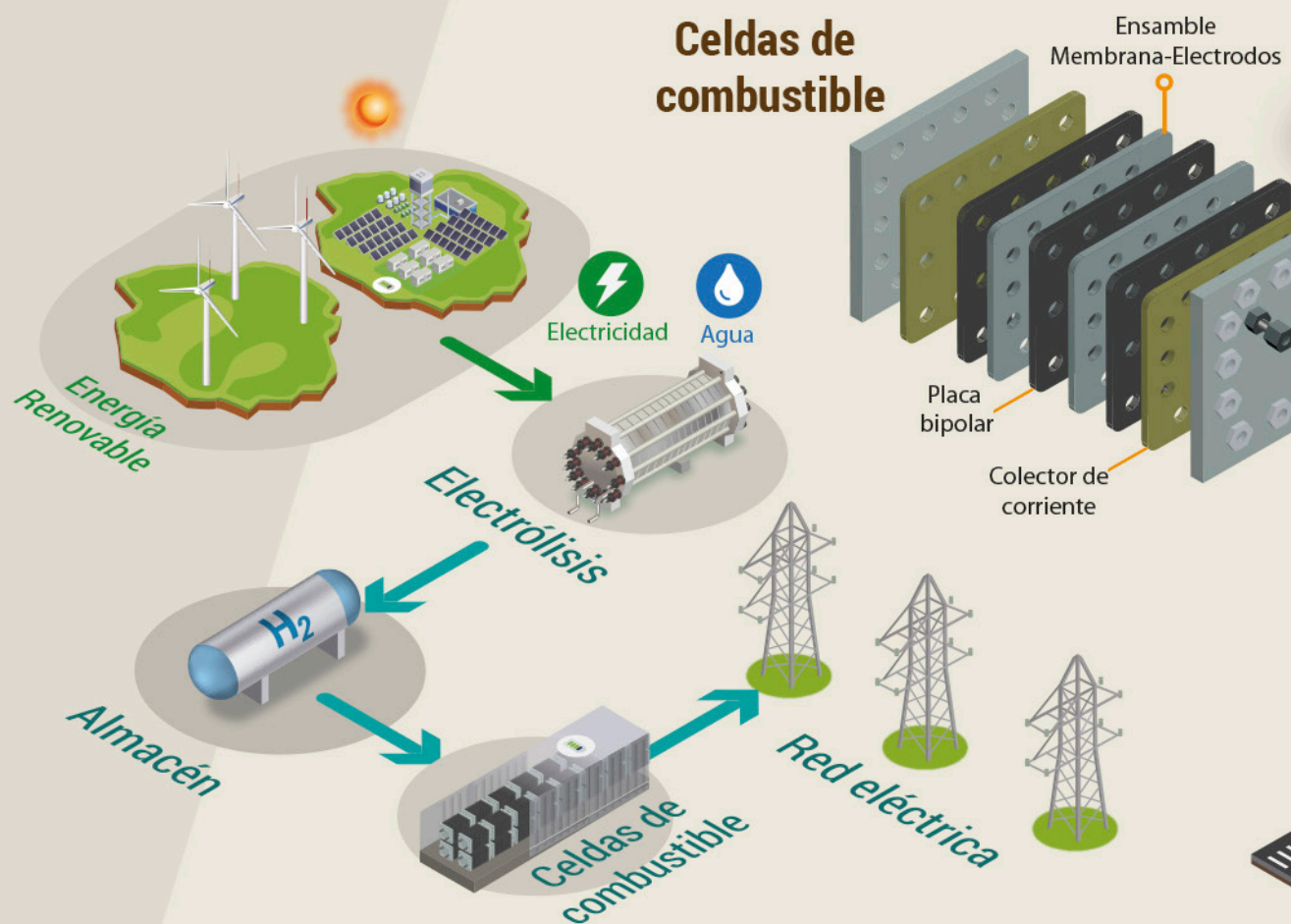


**Figura 2.** Prototipo de batería de flujo basada en materiales orgánicos Redox, desarrollada en el INEEL. Incluye stack, tanques de almacenamiento de electrolitos, bombas de recirculación, sensores de temperatura, flujo y estado de carga; así como sistema de control y adquisición de datos.

**Autores:** Tatiana Romero Castañón, [tromero@ineel.mx](mailto:tromero@ineel.mx)  
 Mario Román Díaz Guillén, [mario.diaz@ineel.mx](mailto:mario.diaz@ineel.mx)  
 Leonardo de Silva Muñoz, [leonardo.desilva@ineel.mx](mailto:leonardo.desilva@ineel.mx)  
 Abigail González Díaz, [abigail.gonzalez@ineel.mx](mailto:abigail.gonzalez@ineel.mx)

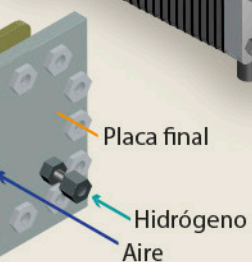
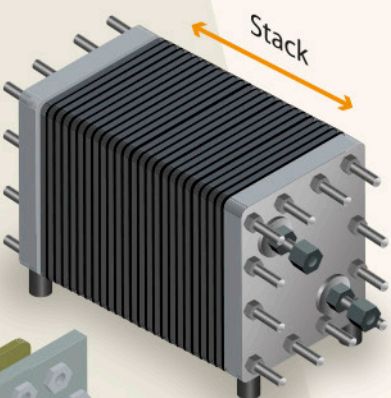
## Almacenamiento de energía

**Desarrollo de prototipos** para almacenamiento de energía de larga duración, mediante tecnologías electroquímicas de **bajo costo**, para integración de energía renovable en la Red Eléctrica Nacional.



### Hidrógeno

Generación de **hidrógeno verde** mediante electrólisis del agua. Se aprovechan excedentes de fuentes renovables para almacenar energía hasta por meses y resuelve el problema de su intermitencia.



## Baterías de flujo

Se desarrollan dos tecnologías nacionales con potencial de almacenar hasta 24 horas de energía a bajo costo operativo y de inversión. Meta: 0.2 USD/kWh

