



# Sistemas de Almacenamiento Energético con Baterías –SAEB–

10° Encuentro  
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM  
V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

Metodología de Especificaciones Técnicas para Sistemas de Almacenamiento Energético con Baterías (SAEB) con aplicación en subestaciones de generación y de distribución

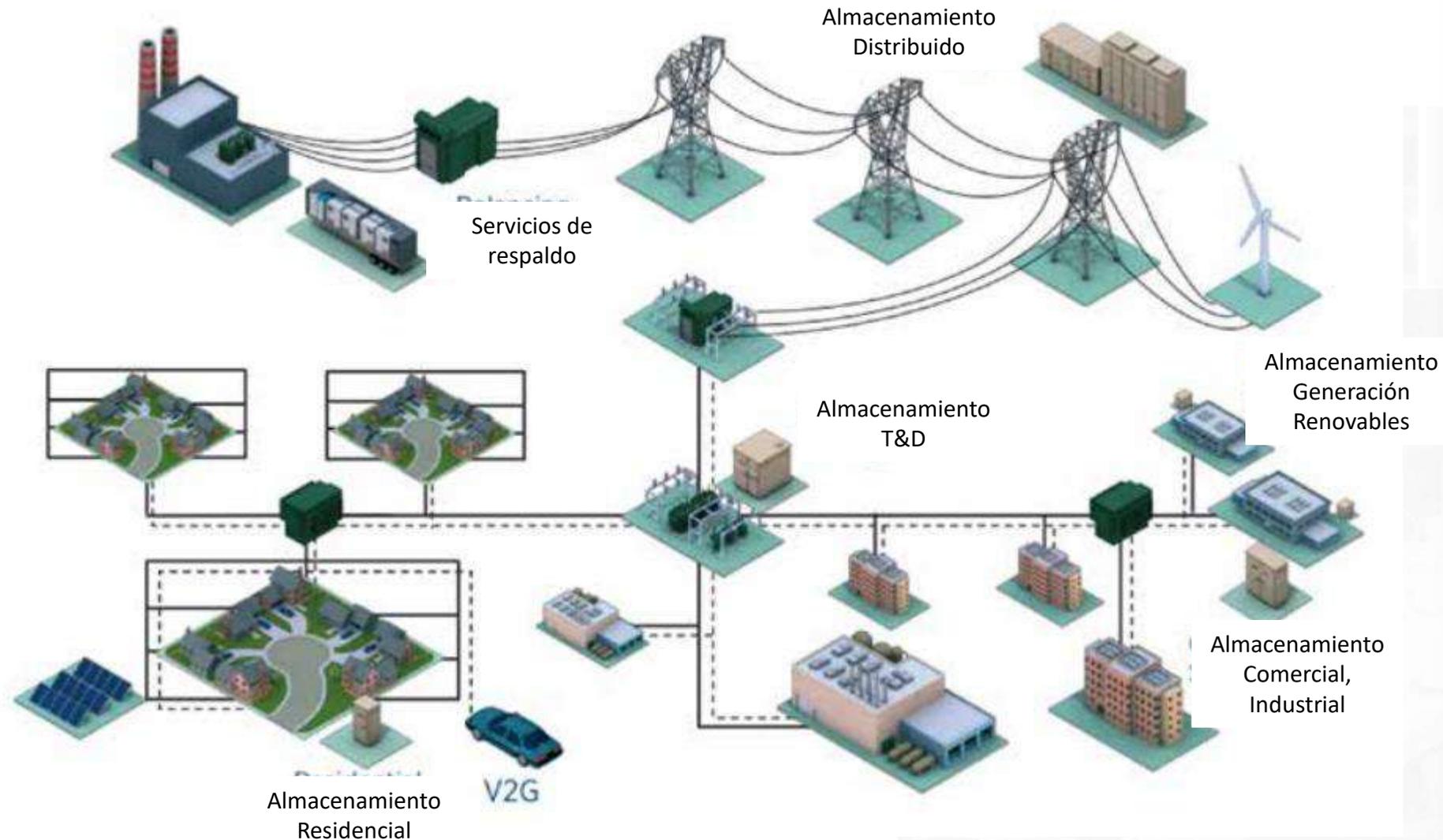
Gabriel Jaime Correa Henao  
Unidad Ingeniería de Proyectos 1

Kevin Andrés Pachón-Niño  
Unidad Estudios y Asimilación Tecnológica



# Antecedentes - Contexto

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



Fuente = (IRENA, 2017)

# Tecnologías de Baterías

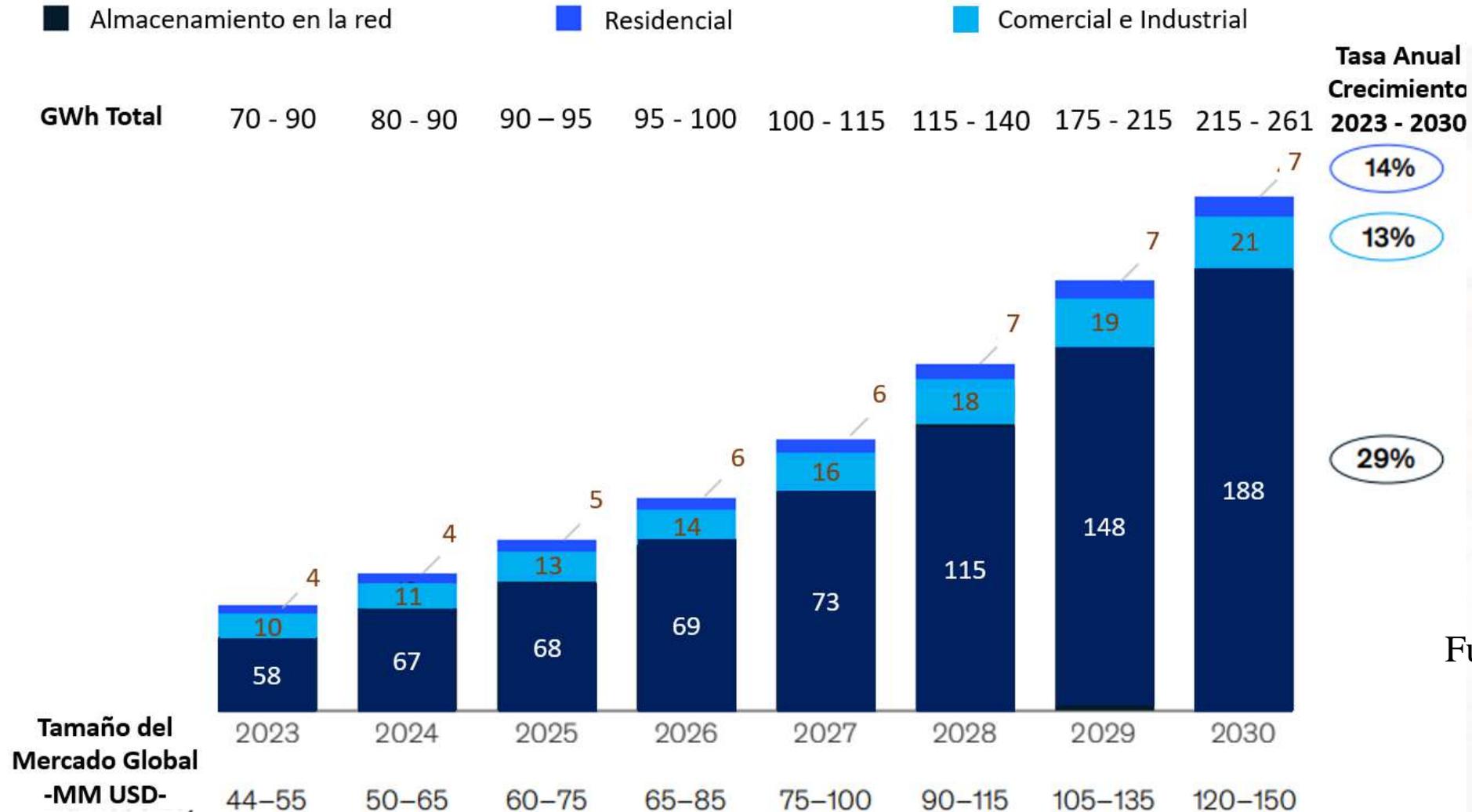
| Tecnología | Vida Útil (Ciclos) | Precio (USD/kWh) | Densidad Energética (Wh/kg) | Disponibilidad Comercial |
|------------|--------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Pb-Ácido   | 30-50              | 80-150           | 500-800                     | Alta                     |
| NiCd       | 40-60              | 300-400          | 1.500-2.000                 | Alta                     |
| NiMH       | 60-120             | 300-400          | 500-1000                    | Alta                     |
| VRFB       | 15-25              | 250-350          | 10.000-20.000               | Baja                     |
| NiFe       | 30-50              | 400-500          | 2000-3000                   | Moderada                 |
| Fe-Aire    | ~1200              | ~50              | 10.000 – 20.000             | Investigación            |
| Li-ion     | 100-265            | 100 - 300        | 500-1000                    | Alta                     |
| SIB        | 160-200            | 100 - 200        | ~5.000                      | Investigación            |
| LiFePO4    | ~120               | 160 - 230        | ~3.000                      | Alta                     |
| LiFePMn    | ~240               | ~250             | 5.000-10.000                | Baja                     |
| NiCoMn     | ~250               | 100-300          | 500-1.000                   | Moderada                 |
| LiCoO4     | 150-200            | ~250             | 500-1.000                   | Baja                     |
| NaS        | ~110               | 100-200          | ~4.500                      | Baja                     |
| Zn-Aire    | ~1000              | ~200             | ~10.000                     | Investigación            |

Estimativos de costos en EEUU

Recopilación de Catálogos Proveedores, IRENA 2017, Lazard 2021, McKenzie 2023, NREL 2023, Polaris 2023

# Inversiones CAPEX a nivel global

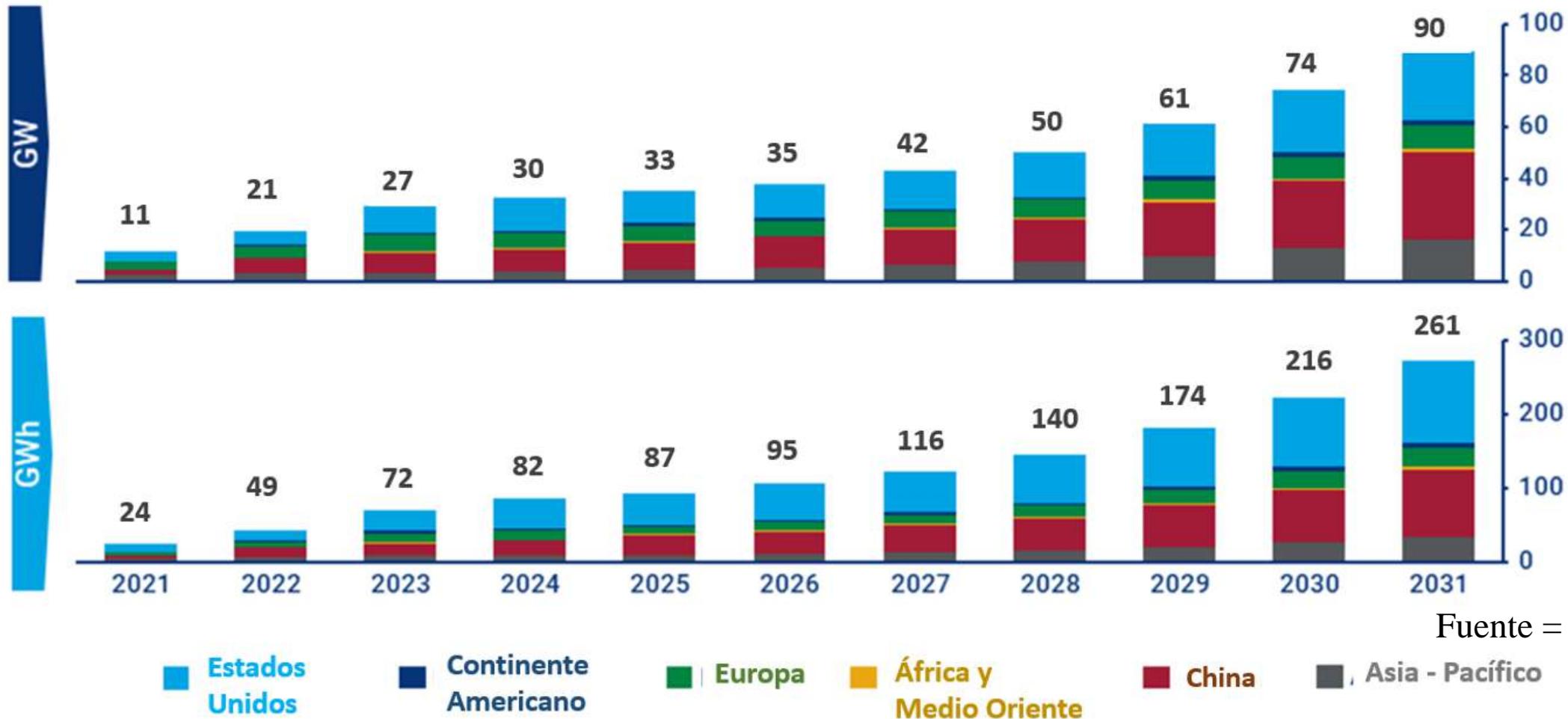
- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



Fuente = (McKenzie, 2023)

# Crecimiento de la Capacidad Instalada

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



Fuente = (McKenzie, 2023)

# Gama de Servicios de los SAEB

| Servicios despacho horario                   | Servicios Auxiliares                                       | Servicios Redes T&D                      | Servicios Gestión Energética para Clientes       | Sistemas Aislados   |
|--|--|--|--|---|
| Arbitraje de despacho de energía horaria (*) | Regulación   | Postergación ampliación infraestructuras | Calidad de Potencia                              | Sistemas solares fotovoltaicos aislados (*)                               |
| Capacidad para suministro de energía (*)     | Sobrefrecuencia, subfrecuencias y servicios suplementarios | Alivios a congestiones en redes          | Confiability de Potencia (*)                     | Redes Inteligentes: servicios estabilidad (*)                             |
|  | Regulación de tensión                                      | Regulación de tensión                    | Despacho tiempo real (*)                         | Redes Inteligentes: intercambios en almacenamiento energético virtual (*) |
|  | Arranque barra muerta                                      |  | Gestión de cambio de la demanda                  |   |
|  |  |  | Incremento en autoconsumo solar fotovoltaica (*) |   |

(\*) Servicios también aplicables a generación con energías renovables

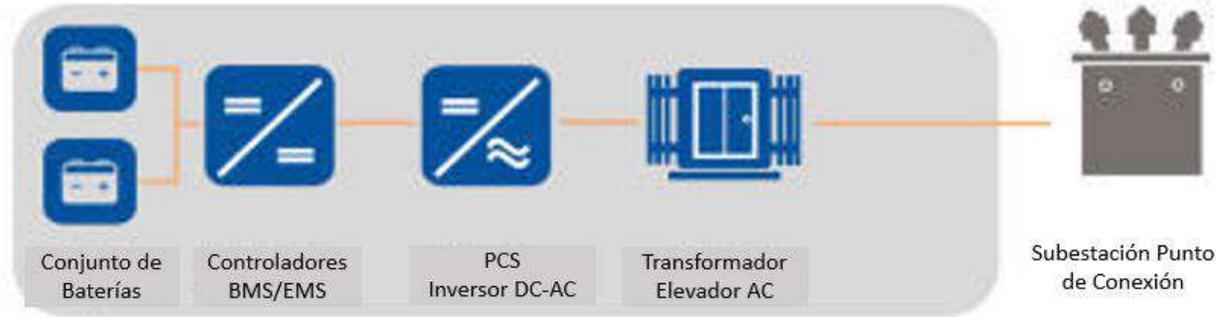
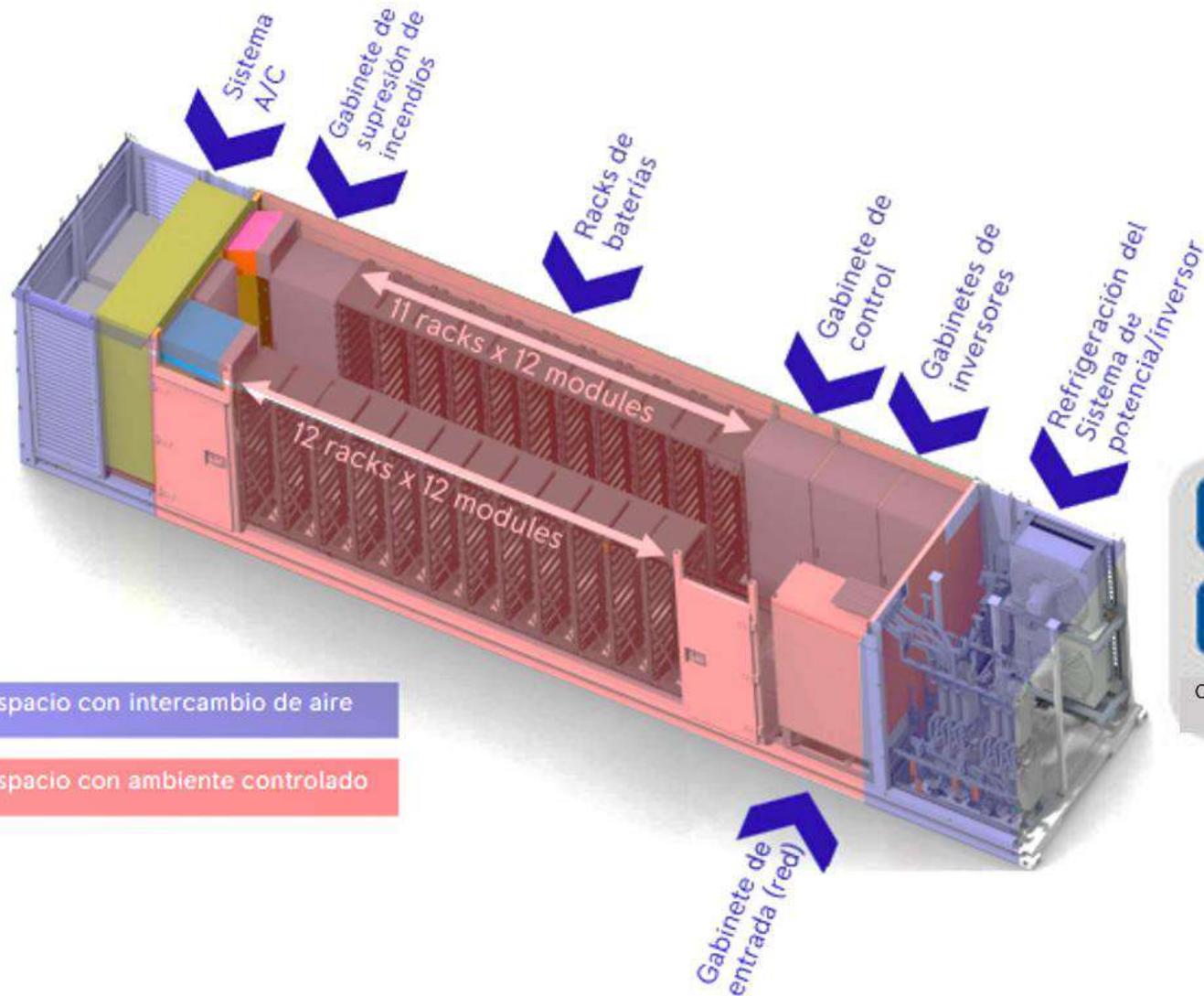
Fuente = (IRENA, 2017)

# Criterios Básicos Dimensionamiento

| Subestaciones Generación  | Subestaciones T&D  |
|---|--|
| <p>Máxima relación entre capacidad de generación y capacidad del SAEB = 3:1</p> <p>Por ejemplo, en un parque solar FV de 30MW, el SAEB se dimensiona en máximo 10MW</p>   | <p>Capacidad para atender la demanda que se conecta a la subestación, usualmente asociada a la cargabilidad y factor de potencia del transformador de potencia.</p> <p>Por ejemplo, se dimensiona el SAEB de máximo 4,5MW en una subestación con transformador de 6MVA con cargabilidad de 83,3% y FP de 0.9</p> |
| <p>Recomendación de hasta 4 horas de autonomía</p>  | <p>Recomendación de 1 ó 2 horas de autonomía, según registro histórico de confiabilidad y demanda no atendida desde una subestación radial.</p>  |
| <p>Régimen de trabajo carga / descarga tipo C1, C2, C3, C4, etc, según se estipule por los fabricantes. Por ejemplo, el régimen C3 implica que la descarga se realiza gradualmente durante 3 horas en un solo ciclo.</p>  |  |
| <p>Estrategia de compensación para el desempeño de baterías LFP:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. <i>Escenario Avanzado</i> = Sobredimensionamiento de capacidad en MW en la inversión CAPEX durante el primer año de trabajo</li><li>2. <i>Escenario Conservador / Moderado</i> = Compensación mediante incorporación de nuevas baterías a lo largo del ciclo de vida (Típicamente, cada 10 años) para garantizar la capacidad en MW</li></ol> |  |

# Disposición Típica SAEB

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



Fuente = (Roll-Royce, 2022)

# Proveedores / Fabricantes SAEB

10° Encuentro  
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM  
V Edición Jornadas Técnicas

| Empresa   | País de Origen | Ciudad de la Fábrica/Sede     |
|---|----------------|-------------------------------|
| Tesla   | Estados Unidos | Palo Alto, California         |
| Panasonic                                       | Japón          | Osaka                         |
| LG Chem   | Corea del Sur  | Seúl                          |
| BYD   | China          | Shenzhen                      |
| Samsung SDI                                     | Corea del Sur  | Suwon                         |
| CATL (Contemporary Amperex)                     | China          | Ningde, Fujian                |
| ABB   | Suiza          | Zúrich                        |
| Saft (una subsidiaria de Total)                 | Francia        | Levallois-Perret              |
| EnerSys   | Estados Unidos | Reading, Pennsylvania         |
| NEC Energy Solutions                            | Estados Unidos | Westborough, Massachusetts    |
| Fluence (una empresa conjunta de Siemens y AES) | Estados Unidos | Arlington, Virginia           |
| Hitachi Energy                                  | Japón          | Tokio                         |
| Kokam (perteneciente a Hanwha Group)            | Corea del Sur  | Seongnam                      |
| GS Yuasa  | Japón          | Kyoto                         |
| Toshiba   | Japón          | Tokio                         |
| Sonnen (ahora parte de Shell)                   | Alemania       | Wildpoldsried                 |
| SimpliPhi Power                                 | Estados Unidos | Oxnard, California            |
| MEPPI - Mitsubishi                              | Estados Unidos | Warrendale, Pensilvania       |
| Honeywell                                       | Estados Unidos | Charlotte, Carolina del Norte |
| Hithium   | Suecia         | Estocolmo                     |
| Sungrow   | China          | Hefei, Anhui                  |
| Jinko   | China          | Shangrao, Jiangxi             |
| Rolls-Royce                                     | Reino Unido    | Londres                       |
| Merus   | Finlandia      | Pirkkalaistie                 |

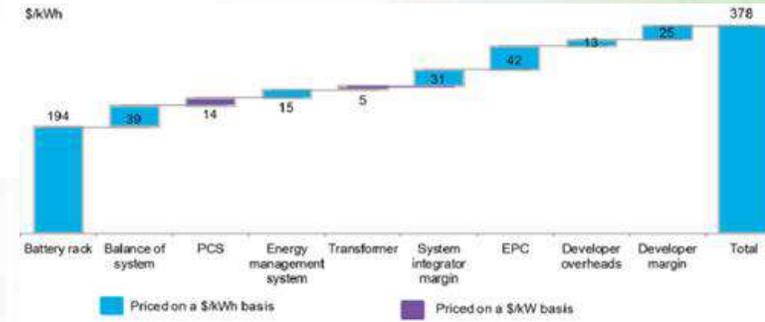
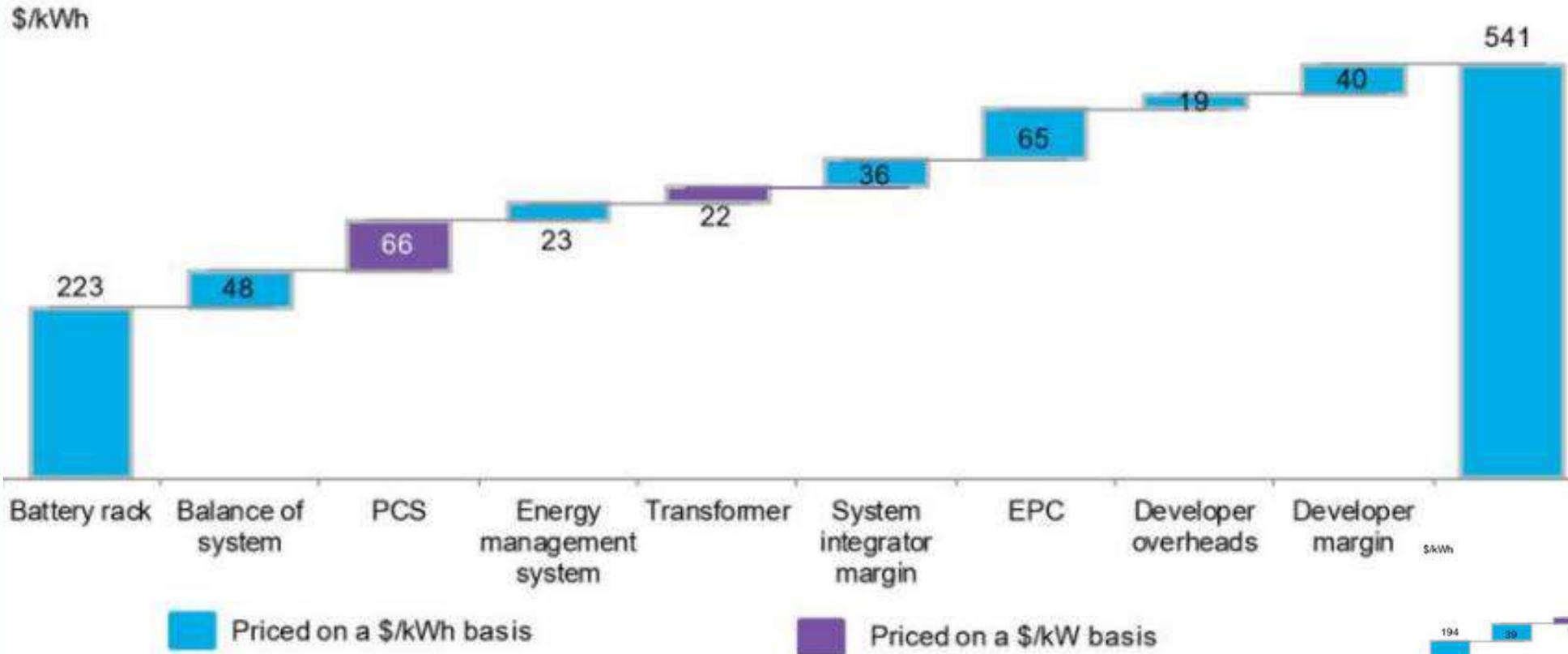
# Especificaciones Técnicas SAEB

10° Encuentro  
de Proveedores y Contratistas Grupo EPM  
V Edición Jornadas Técnicas

| Parámetro                    | Valor  | Unidad           | Observación  |
|------------------------------|--------|------------------|--|
| Capacidad Almacenamiento     | 5      | MW <sub>DC</sub> | Requerimiento de Proyecto SAEB   |
| Capacidad Energética         | 21,052 | MWh              | Requerimiento de Proyecto SAEB (Con remanente Profundidad Descarga)  |
| Régimen Trabajo              | C4     |                  | 4 Horas de Autonomía   |
| Horas Autonomía              | 4,21   | Horas - Día      | Capacidad Energética / Capacidad Almacenamiento + Remanente Profundidad Descarga   |
| Tiempo de carga              | 4      | Horas - Día      | Se deben validar las condiciones de diseño y fichas técnicas   |
| Tecnología Almacenamiento    | LFP    | Li-Fe-P          | Requerimiento de Proyecto SAEB   |
| Profundidad de Descarga      | 95,0%  | %                | Según el tipo de tecnología  |
| Densidad Energética          | 190    | Wh/Kg            | Depende del tipo de tecnología. Información del fabricante   |
| Operación                    | 1      | Operación/día    | Sólo se reconoce el pago de una operación diaria del SAEB, para garantizar estabilidad de la red.  |
| Ciclos de Carga-Descarga     | 7500   | Ciclos           | Depende del tipo de tecnología   |
| Vida Útil                    | 20,55  | años             | Depende del tipo de tecnología y de los procedimientos de operación  |
| Relación Acumulador/Inversor | 1 : 2  |                  | Un inversor por cada 3 contenedores de 20 pies   |
| Contenedores requeridos      | 5      |                  | Contenedores de 20 pies. Cada uno con capacidad de almacenamiento de hasta 4 MWh   |
| Cantidad Total Inversores    | 2      |                  | Un PCS por cada 3 MW de potencia   |
| Área Terreno                 | 357    | m <sup>2</sup>   | Superficie de predio con distancias de seguridad para 5 contenedores de 20 pies c/u + inversores   |
| Coordenadas                  |        |                  | (Según localización de la Subestación)   |
| Voltaje Conexión             | 13,2   | kV               | 13,2kV Hasta 7,5MW; 44kV hasta 20MW; 110kV otras potencias   |
| Línea de Transmisión         | 1      | Km               | Nivel de Tensión 13,2kV Cuando sea requerido por el proyecto, incluir requerimientos del punto de conexión y de la línea de transmisión en media o alta tensión) |

# Estimativo CAPEX unitario USD/kWh

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

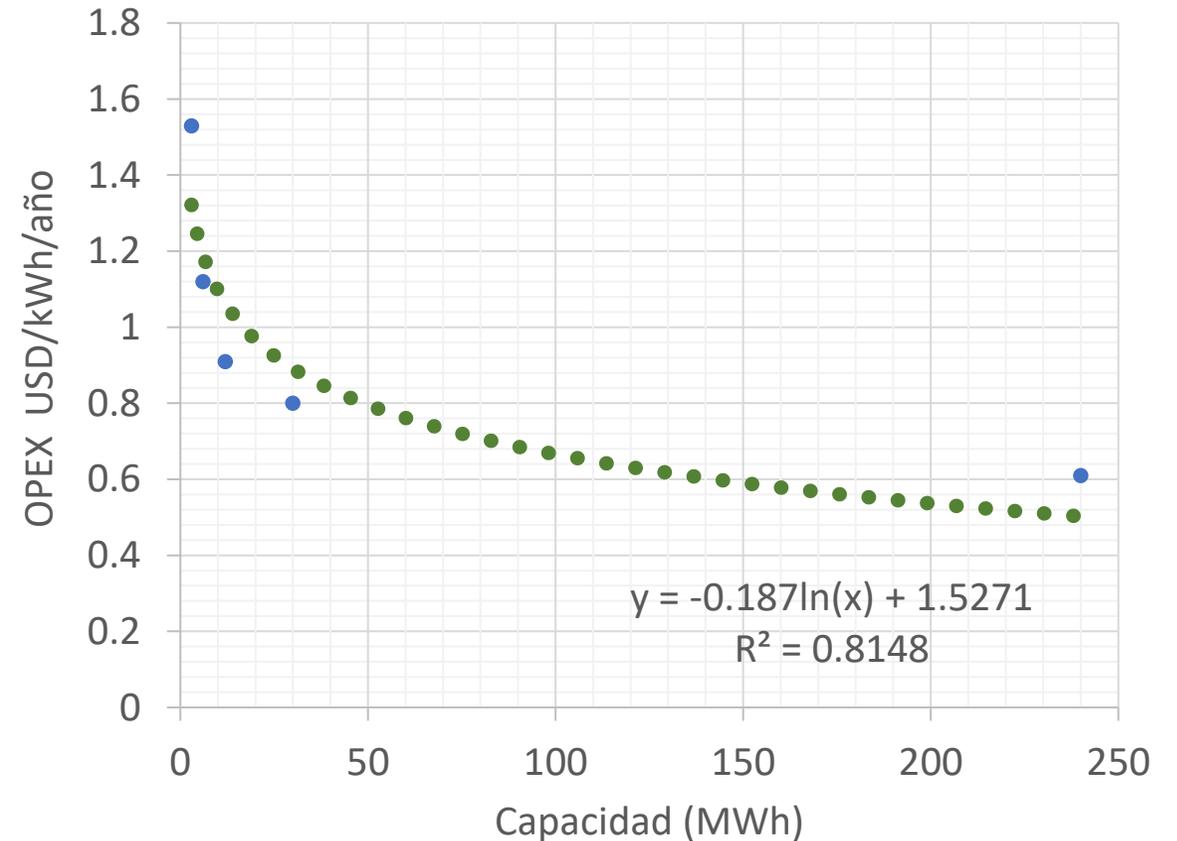
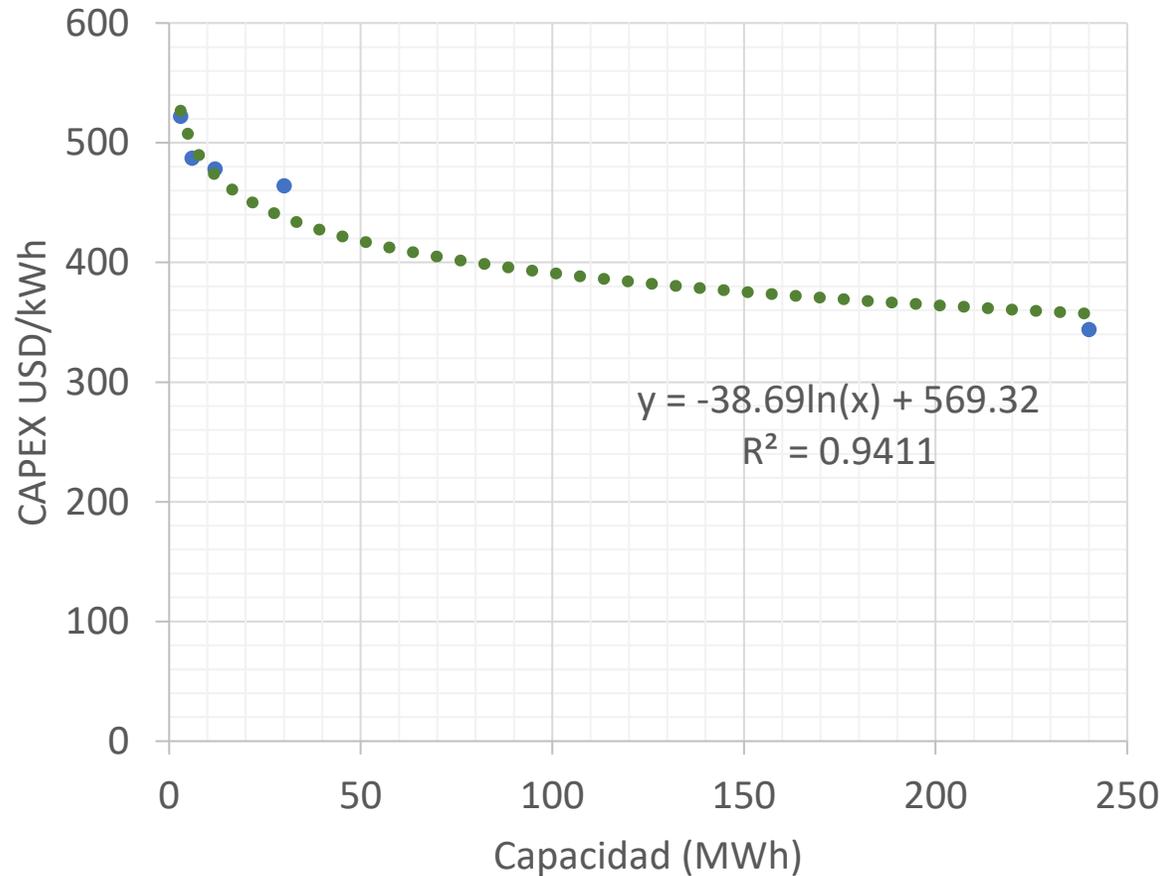


Información de referencia. Estimativos de costos en EEUU. No incluye gestión de impuestos, predios, licenciamientos.

Fuente = (Bloomberg, 2019)

# Formulación Estudios de Mercado

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



Estrategias para compensar la degradación de las baterías:

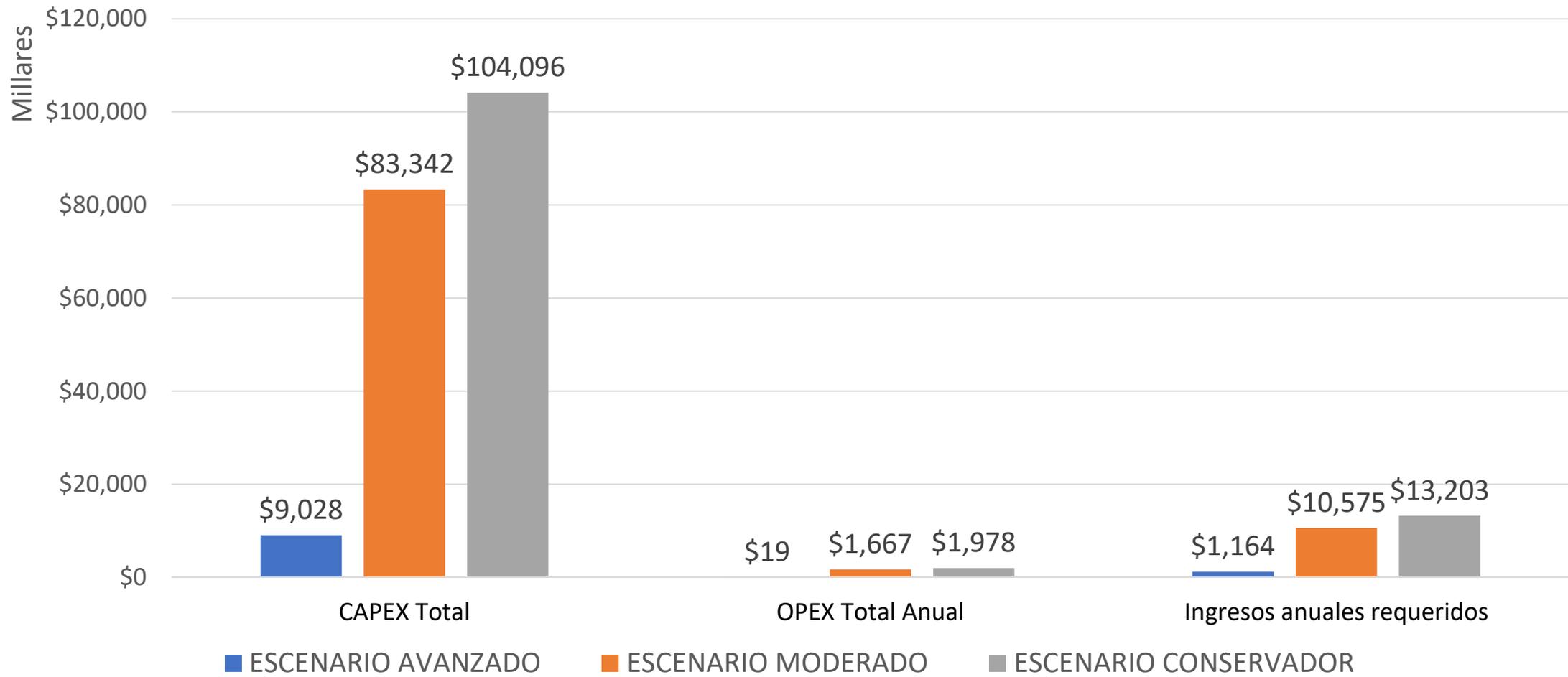
Sobredimensionamiento al principio del proyecto, o compensación diferida durante el ciclo de vida

# Escenarios de Inversión

| Escenario Avanzado   | Escenario Conservador   | Escenario Moderado  |
|--|---|---|
| <p>Innovaciones tecnológicas disponibles y maduras. Se evidencia desarrollo de varios proveedores para soportar la implementación de proyectos SAEB. En este caso, se proponen elegir tecnologías con operatividad mayor a 7500 ciclos, para alargar la vida útil de los proyectos a más de 20 años, con sobredimensionamiento en las condiciones iniciales de capacidad energética.</p> | <p>Inversiones históricas llegan al mercado con un aprendizaje industrial continuo. El LCOE en este escenario también tiene en cuenta mayores inversiones CAPEX para el acondicionamiento y utilización del sistema de almacenamiento, por ejemplo, puntos de conexión, líneas de transmisión, gestión predial y ambiental. Para el SAEB se estiman recambios de baterías cada 10 años, para compensar su degradación</p> | <p>Innovaciones en el mercado actual se vuelven más generalizadas, y tienen cierto nivel de madurez. Este escenario puede considerarse para implementar prototipos de innovación tecnológica, pero teniendo en cuenta adecuadas inversiones CAPEX en asuntos como licenciamientos ambientales, gestión predial, líneas de transmisión y acondicionamiento en los puntos de conexión. Para el SAEB se estiman recambios de baterías cada 10 años, para compensar su degradación.</p> |

# Escenarios de Inversión

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital



# Recomendaciones

Inversiones sobre la tecnología de almacenamiento y armonización con otros proyectos de generación (corrección de la intermitencia) o T&D (mejora de confiabilidad) para que éstos asuman costos CAPEX y OPEX de los puntos de conexión en las subestaciones, y sus respectivas líneas de transmisión.

Para realizar sensibilización con entidades de planeación y regulación del mercado energético colombiano con el fin de compatibilizar el funcionamiento de los SAEB con el marco regulatorio, se propone el acompañamiento con el ente regulador tan pronto se pongan en funcionamiento los primeros proyectos, sin necesidad de que esté todo el marco regulatorio establecido.

Prestación de servicios complementarios en el caso de la actividad de generación, y para la eliminación o mitigación de restricciones en el caso de las actividades T&D, considerándolo como un activo del sistema.

# 10° Encuentro de Proveedores y Contratistas Grupo EPM V Edición Jornadas Técnicas

- Transición energética
- Economía circular
- Rentabilización de operaciones
- Transformación digital

# ¡Gracias!

Grupo·epm