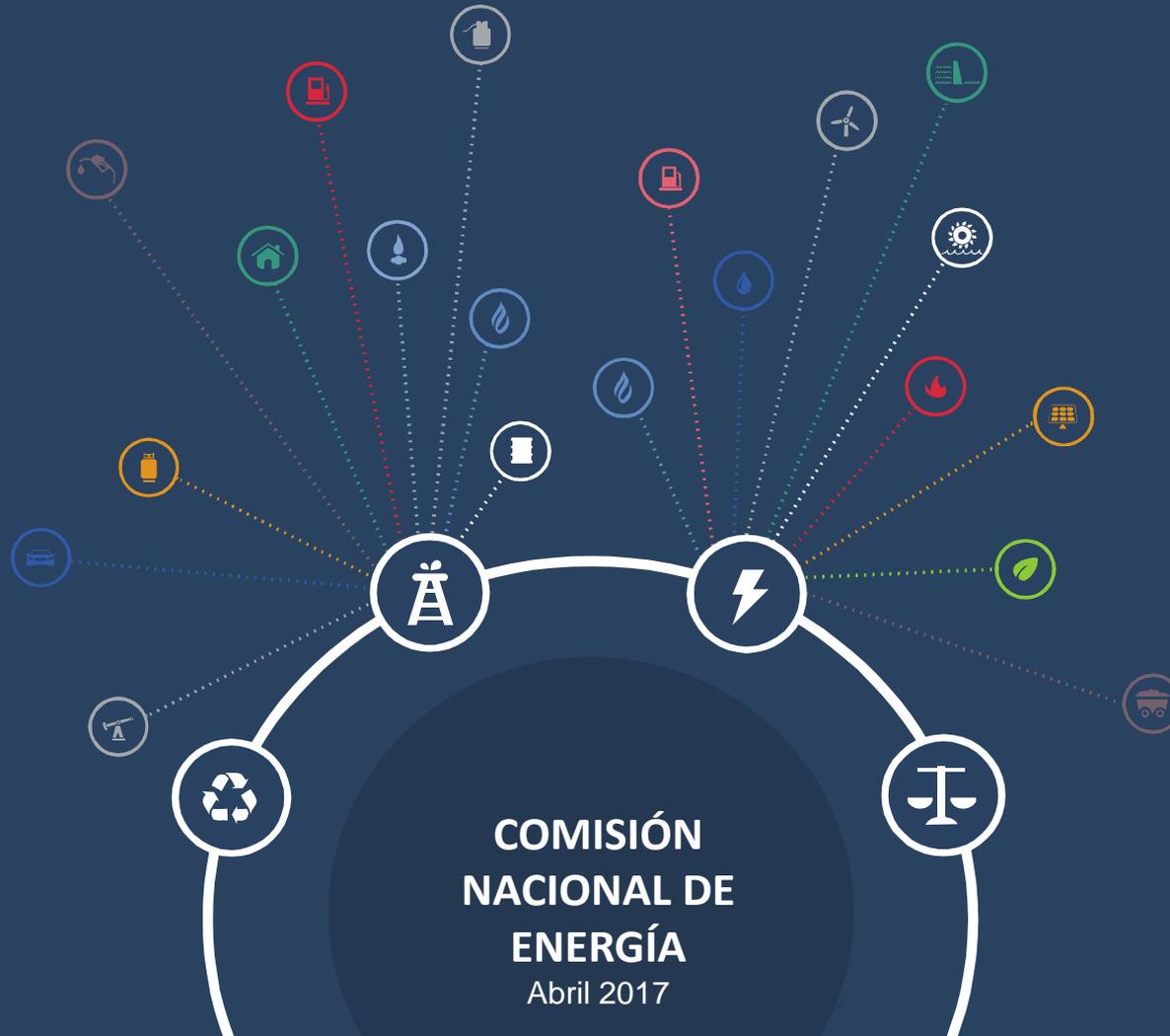


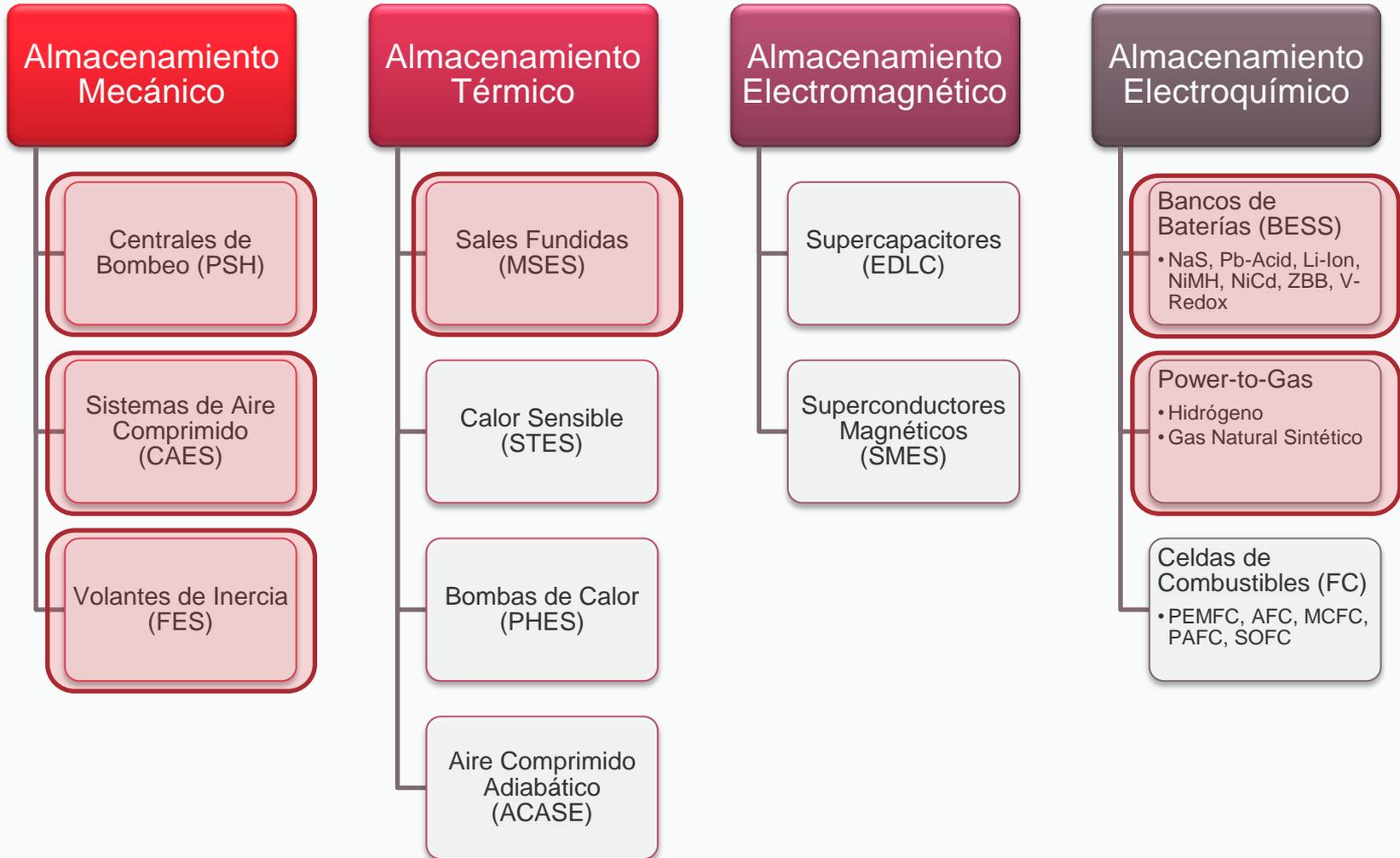
# Reglamentos de Coordinación y Operación Sistemas de Almacenamiento



- 1. Marco Conceptual (Tecnologías, Aplicaciones y Costos)**
- 2. Almacenamiento de Energía en el Mundo**
- 3. Marco Regulatorio**
- 4. Integración de Sistemas de Almacenamiento en Chile**
- 5. Temas Mesa de Trabajo N°2**

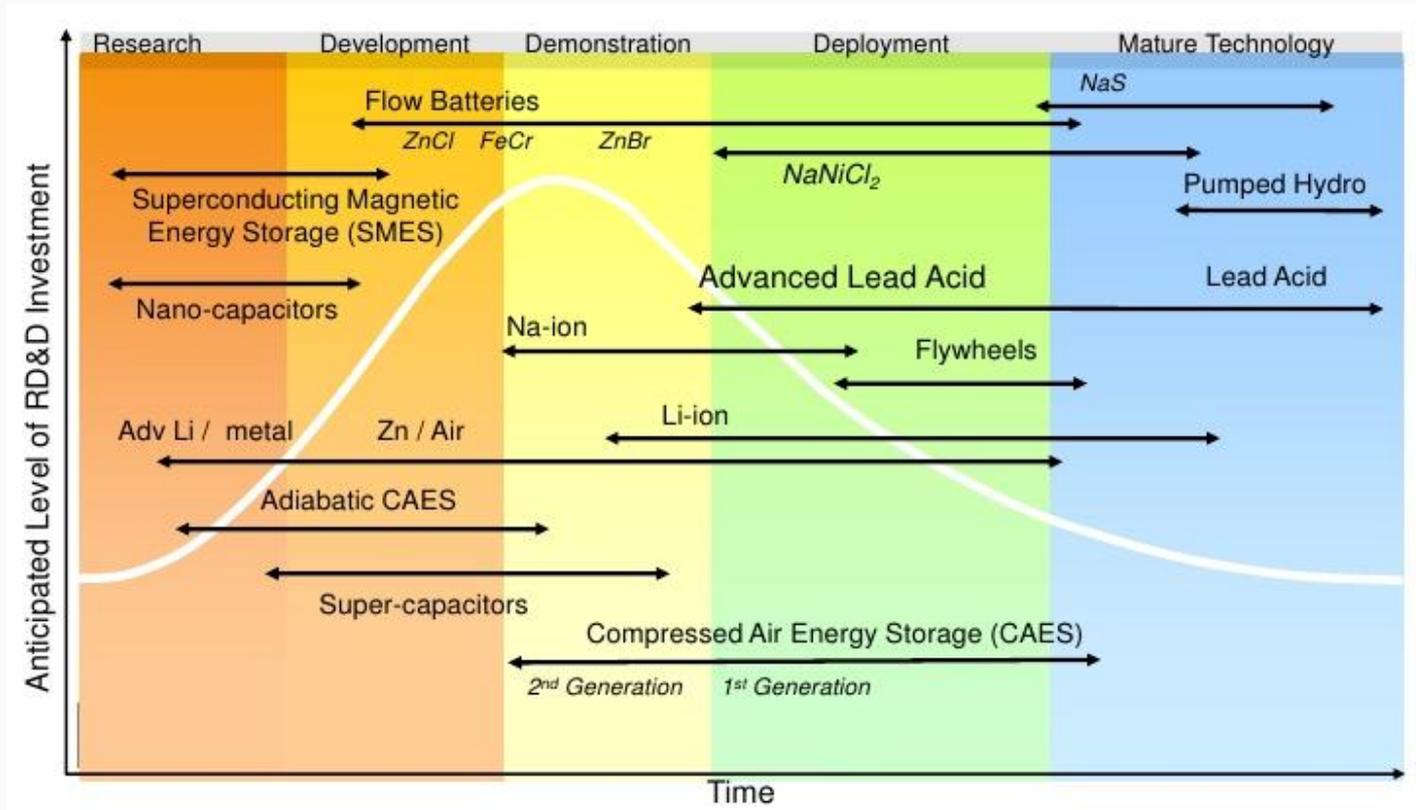
# 1- Marco Conceptual

# 1.1- Tecnologías de Almacenamiento



# 1.1- Tecnologías de Almacenamiento

## Grado de Madurez Tecnológica



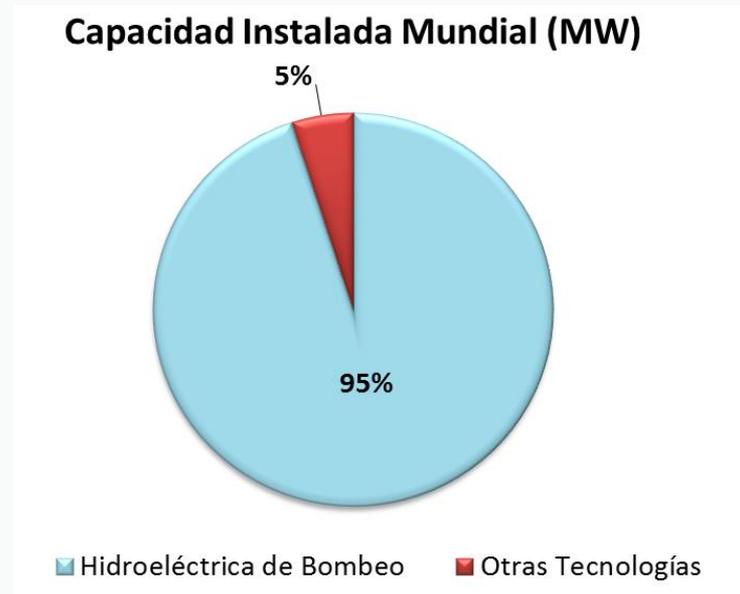
Fuente: Emerging energy generation and storage technology, Electric Power Research Institute, United States



# 1.1- Tecnologías de Almacenamiento

## Capacidad Instalada Mundial (MW)

Tecnología	Capacidad MW
Hidroeléctrica de Bombeo	183.851
Térmica Sales Fundidas	2.752
Baterías Ion-Litio	2.167
Aire Comprimido	1.169
Volantes de Inercia	972
Almacenamiento Térmico (Otras Tecnologías)	871
Esquemas Power-to-Gas	431
Otras Baterías	305
Baterías Sulfuro de Sodio	198
Baterías Fosfato de Hierro-Litio	187
Baterías de Plomo-Ácido	152
Baterías de Litio-Níquel-Manganeso-Cobalto	113
Capacitores de Doble Capa	79
Baterías de Flujo Redox Vanadio	76
Baterías de Bromuro de Zinc	58
Baterías Níquel-Cadmio	32
Baterías de Cloruro de Sodio-Níquel	24
Baterías de Plomo-Carbono	23
Baterías de Zinc-Aire	20
Celdas de Hidrógeno	18
<b>TOTAL</b>	<b>193.498</b>

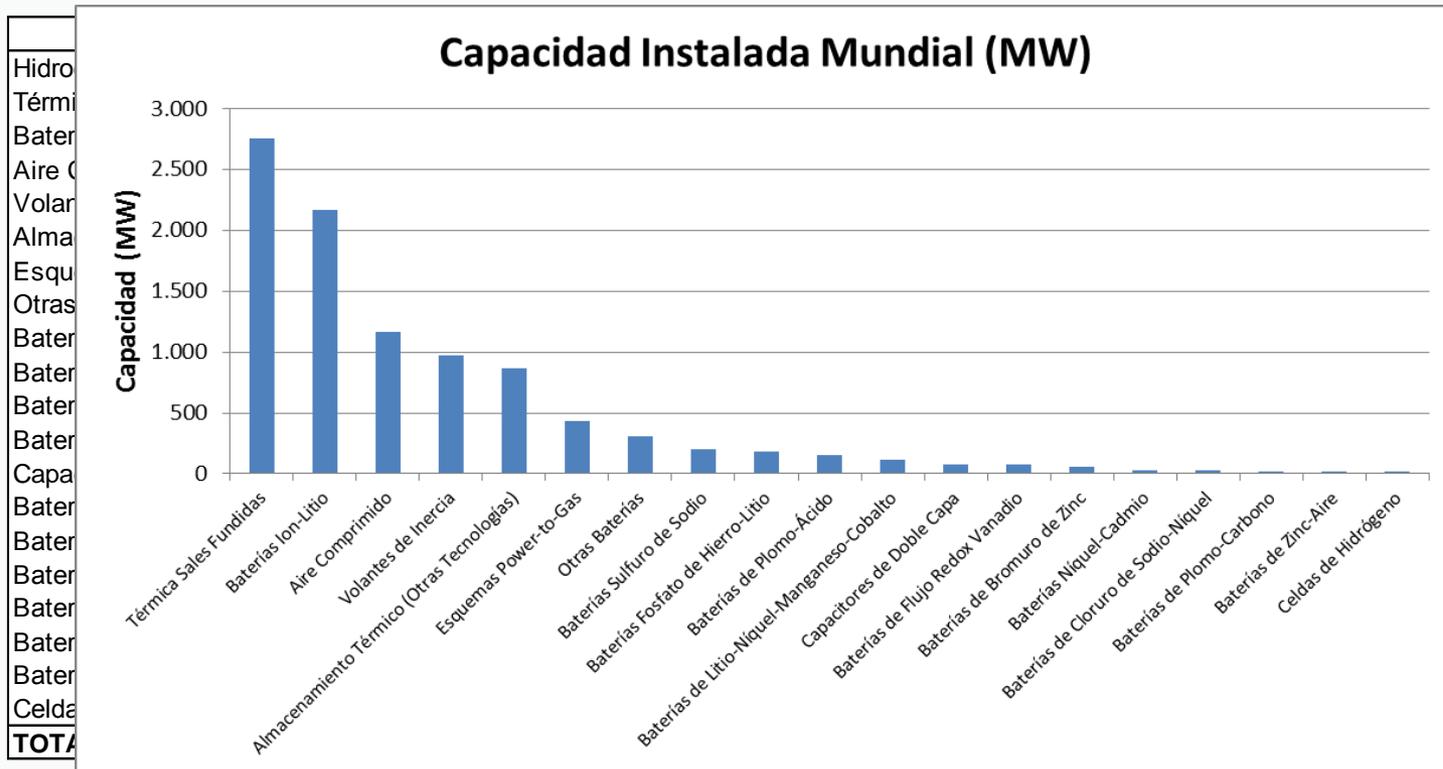


Fuente: DOE Global Energy Storage Database, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability



# 1.1- Tecnologías de Almacenamiento

## Capacidad Instalada Mundial (MW)



Fuente: DOE Global Energy Storage Database, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability



# 1.2- Aplicaciones Sistemas de Almacenamiento



## Generación

- Arbitraje de Energía
- Gestión Estacional de la Energía
- Servicios Complementarios
  - Reg. Frec. - Reservas
  - Regulación de Tensión
  - Recuperación de Servicio
- Suministro Potencia de Punta
- Integración Energías Renovables Variables

## Transmisión

- Alivio de Congestionamientos
- Desfase de Inversiones
- Servicios Complementarios

## Distribución

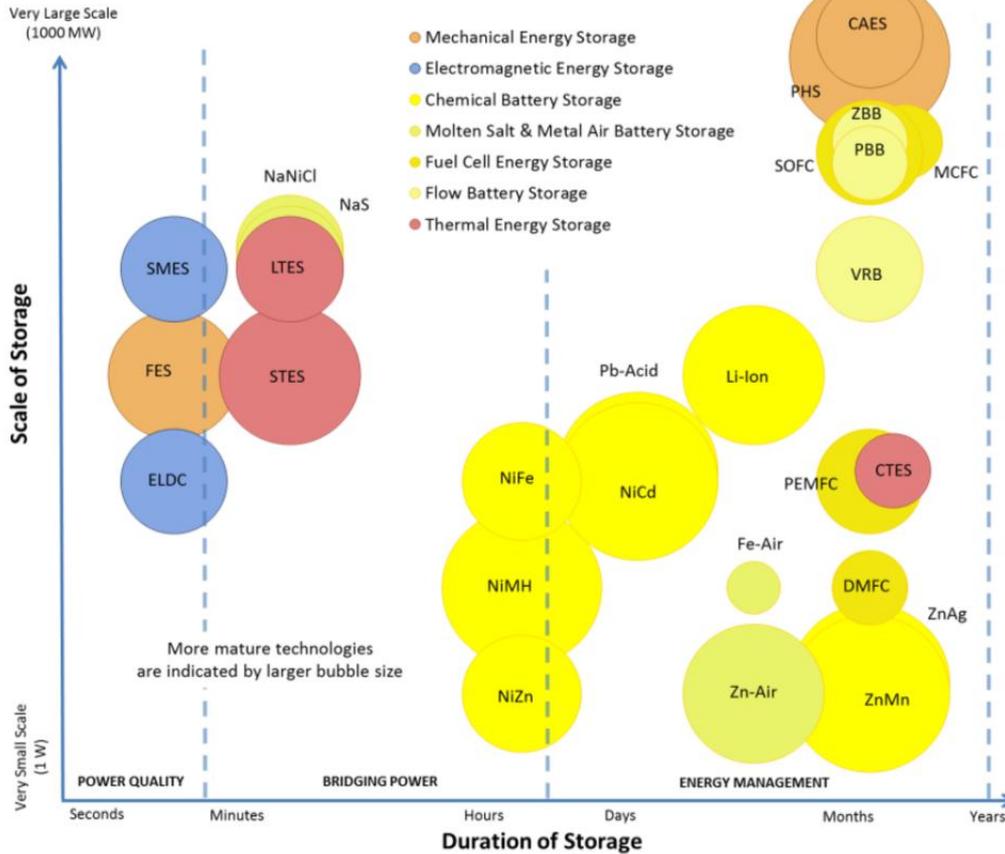
- Gestión de Demanda
- Respuesta de Demanda
- Alivio de Congestionamientos
- Desequilibrio de Inversiones
- Electro-movilidad
- Redes Inteligentes

## Clientes

- Gestión de Demanda
- Respuesta de Demanda
- Autoproducción

# 1.2- Aplicaciones Sistemas de Almacenamiento

Applications for Energy Storage Devices



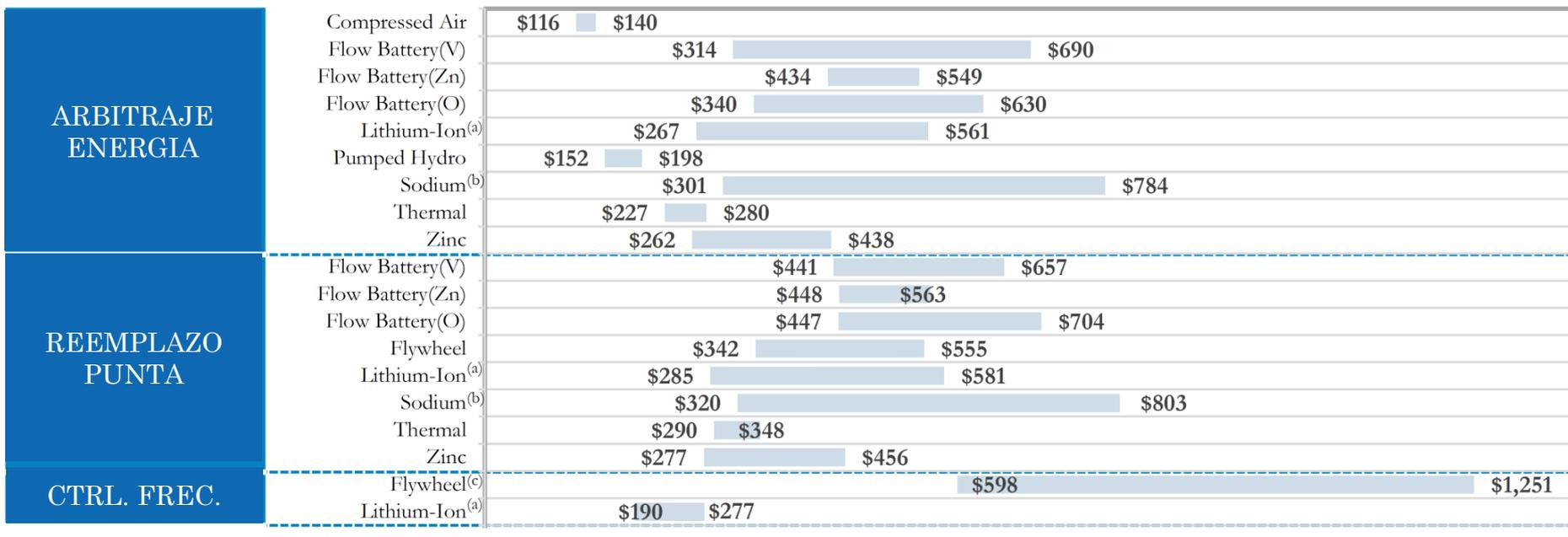
Aplicación	Capacidad MW
Gestión Temporal de la Generación - Arbitraje de Energía	175.260
Suministro de Potencia de Punta	141.624
Regulación de Frecuencia - Reservas	125.101
Control de Tensión	27.448
Seguimiento de Carga - Ramping	25.901
Gestión de Generación Renovable (Firming)	24.167
Partida en Negro - Recuperación de Servicio	12.431
Respuesta de Demanda - Gestión de Demanda	2.690
Soporte a Redes de Transmisión/Distribución	2.108
Otros	2.779

Fuente: DOE Global Energy Storage Database, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability

Fuente: A Numerical and Graphical Review of Energy Storage Technologies, Institute for Energy Systems, University of Edinburgh, 2016.

# 1.3- Costos de Tecnologías

## Costo de Desarrollo (LCOS) (Diciembre 2016)



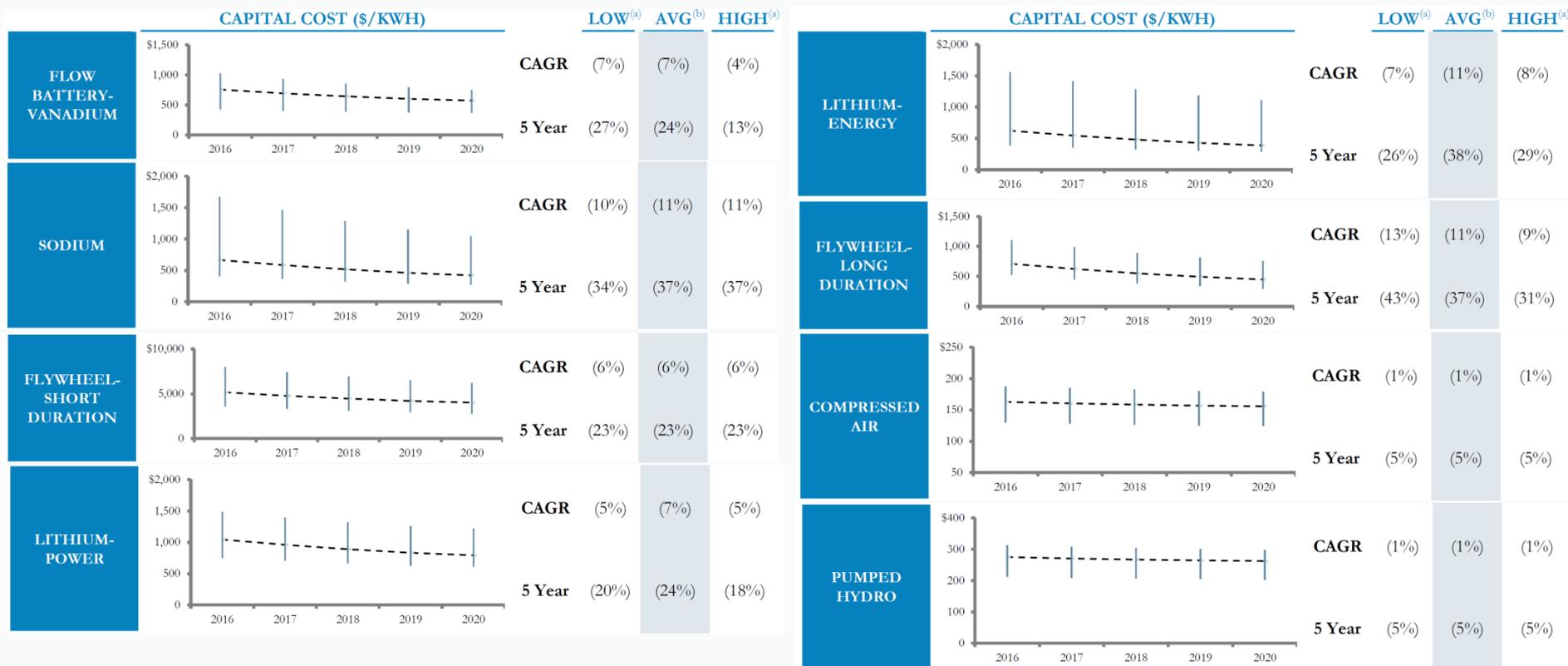
Fuente: Lazard's Levelized Cost of Storage – Versión 2.0 (Diciembre 2016)

- Base de comparación entre tecnologías para cada aplicación
- No se identifica toda la gama de aplicaciones ni múltiples prestaciones simultáneas
- LCOS no es comparable con el de tecnologías de generación eléctrica (LCOE)
- Se asume 20% de deuda a 8% de interés, y 80% capital a un 12% sobre el costo
- Retiros valorizados a 50 US\$/MWh
- Duración: 8 horas (Arbitraje), 40 horas (Reemplazo Punta), 0,5 horas (Control de Frecuencia)



# 1.3- Costos de Tecnologías

## Evolución Costos de Inversión (2016-2021)

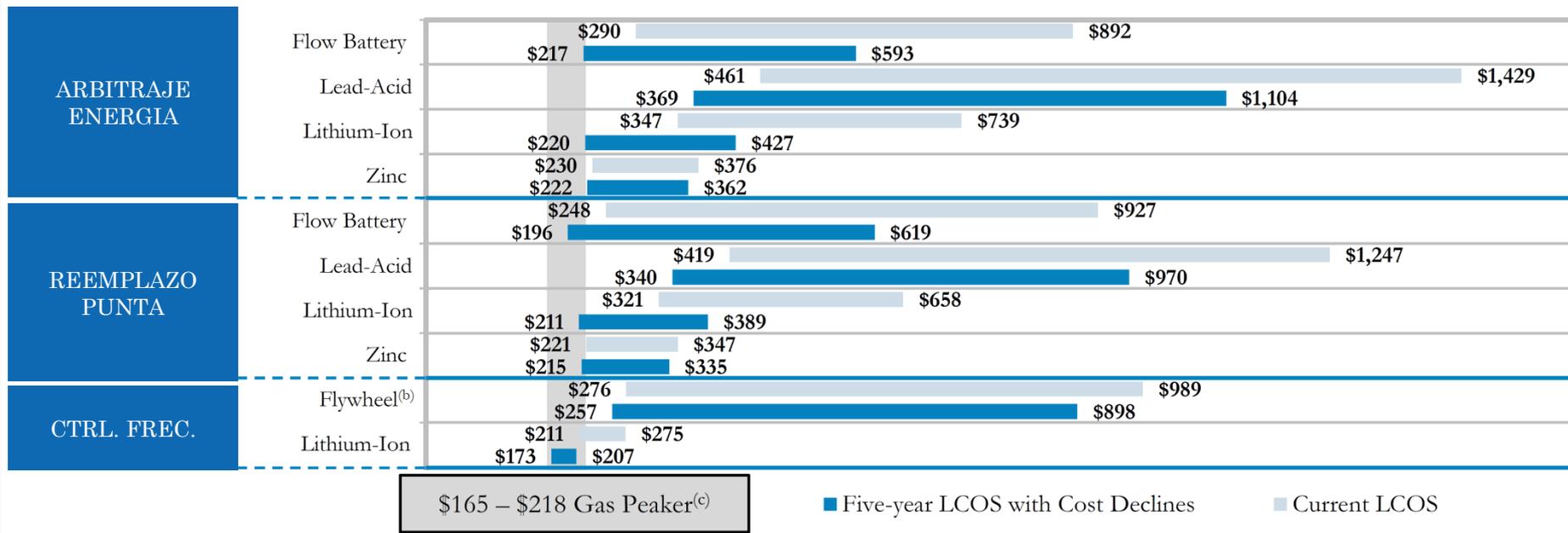


Fuente: Lazard's Levelized Cost of Storage – Versión 2.0 (Diciembre 2016)



# 1.3- Costos de Tecnologías

## Costo de Desarrollo Esperado (LCOS) (2020)

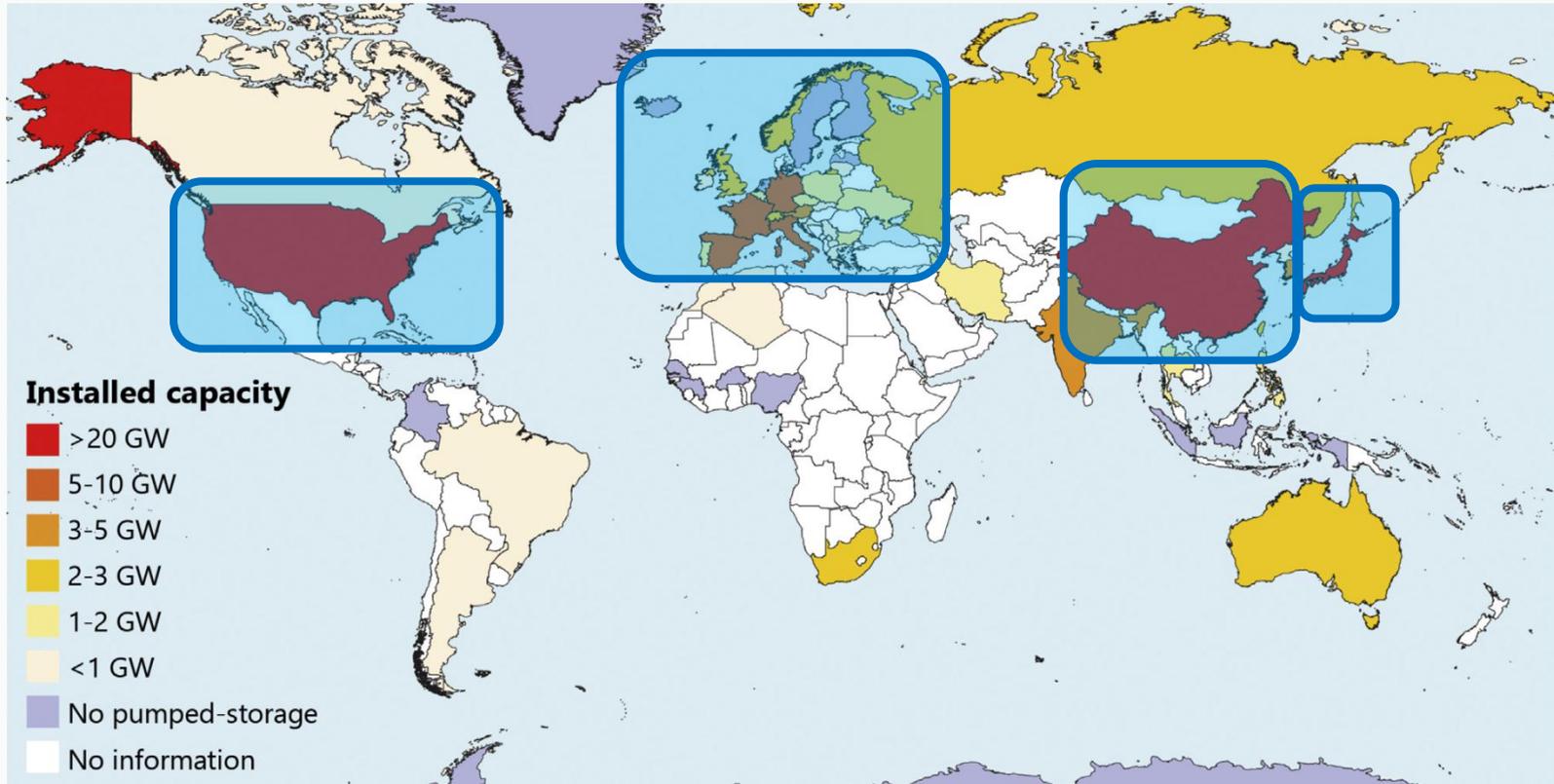


Fuente: Lazard's Levelized Cost of Storage – Versión 1.0 (Noviembre 2015)



## 2- Almacenamiento de Energía en el Mundo

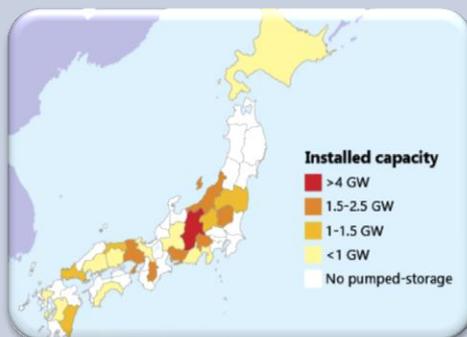
## 2- Almacenamiento de Energía en el Mundo



Fuente: Study of the drivers and asset management of pumped-storage power plants historical and geographical perspective, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2016.

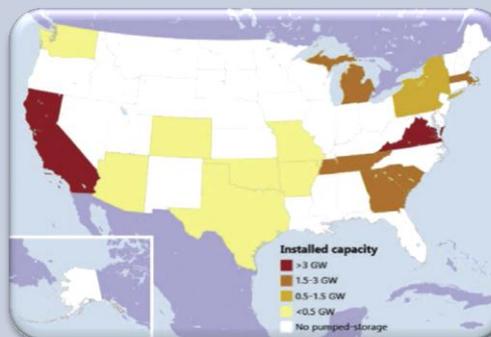


# 2- Almacenamiento de Energía en el Mundo



## Japón

- 29 GW de almacenamiento (11% de cap. instalada de generación).
- Monopolios regionales abiertos a IPPs – Utilities.
- Combustibles fósiles.
- Conexiones internacionales.
- Generación nuclear.
- Meta energía renovable (30% / 2030).
- Innovación tecnológica.
- Gestión temporal y arbitraje.
- Subsidio a la instalación de baterías.



## Estados Unidos

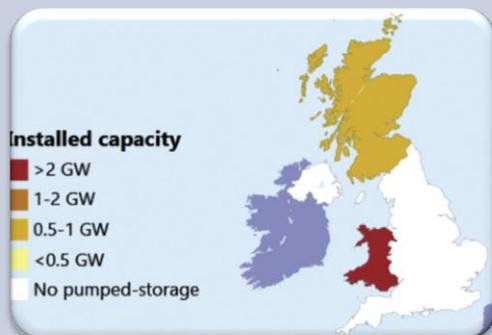
- 32 GW de almacenamiento
- 1378 MW baterías (reg. frec.)
- Escaso desarrollo de PSH en últimos 20 años
- Competencia shale-gas
- Competencia en mercado liberalizado y exposición al riesgo
- Metas energías renovables (Oeste)
- Aplicaciones PSH: Gestión temporal y arbitraje (78%), potencia de punta (11%), control de frecuencia (27%).



## China

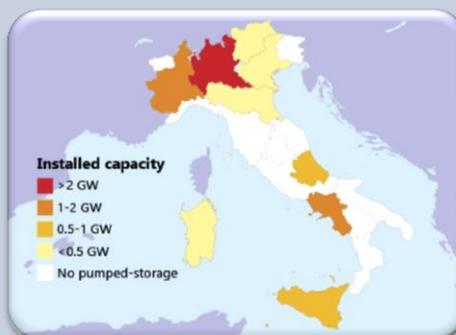
- 32 GW de almacenamiento.
- Boom PSH desde 1990.
- Grandes termoeléctricas.
- Mercado parcialmente liberalizado con precios fijados.
- Meta: 50 GW a 2020.
- 95% propiedad del estado.
- Aplicaciones PSH: Gestión temporal y arbitraje (97%), potencia de punta (54%), control de frecuencia (35%).
- Precios basados en infraestructura
- Penetración eólica y vertimiento

## 2- Almacenamiento de Energía en el Mundo



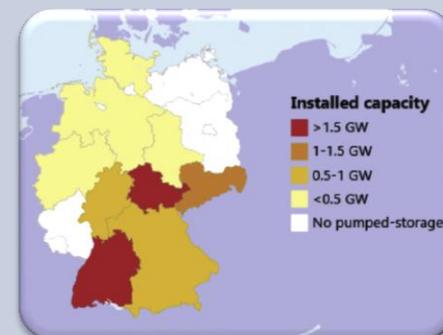
### Reino Unido

- 3,6 GW de almacenamiento
- Conexiones internacionales
- Competencia gas natural
- Operación para proveer servicios en mercado liberalizado
- Restricción a la propiedad (T&D)
- Optimización al interior de utilities
- Penetración masiva eólica off-shore
- Licitación de respuesta de frec. ultra-rápida



### Italia

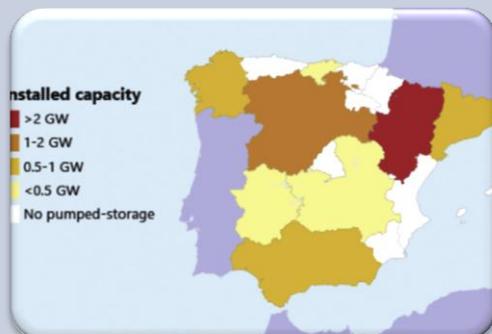
- 7,7 GW de almacenamiento
- Centrales termoelectricas
- Aumento de demanda de punta
- Congestion de transmisión
- Integración para esquema de importación day-ahead
- Penetración renovable en el sur
- Arbitraje de energía y potencia de punta



### Alemania

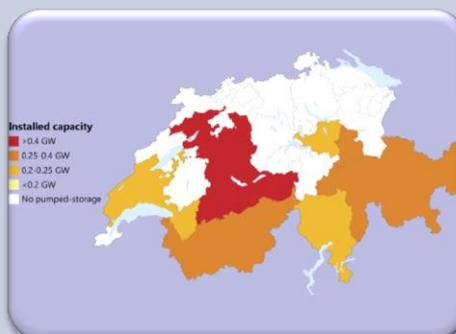
- 12,6 GW de almacenamiento
- 1.371 MW baterías
- Mercado liberalizado
- Energiwende: 80% renovable a 2050.
- Respaldo 10 días sin viento
- Desarrollo de PSH: 10 centrales en construcción
- Nuevas tecnologías: baterías, power-to-gas
- Investigación e incentivos al desarrollo

## 2- Almacenamiento de Energía en el Mundo



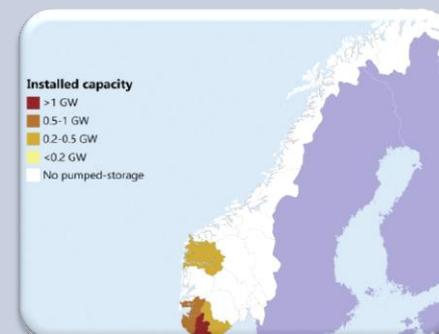
### España

- 9,1 GW de almacenamiento
- 1.130 MW sales fundidas
- Conexiones internacionales
- Operación histórica: recuperación de servicio
- Operación actual para arbitraje y suministro de punta
- 25% de generación renovable
- Feed-in-tariff → Impuestos
- Sistemas aislados 100% renovable



### Suiza

- 6,4 GW de almacenamiento
- Mercado parcialmente liberalizado sin desintegración
- Desarrollo de proyectos PSH
- Transacciones internacionales (Europe's Green Battery)

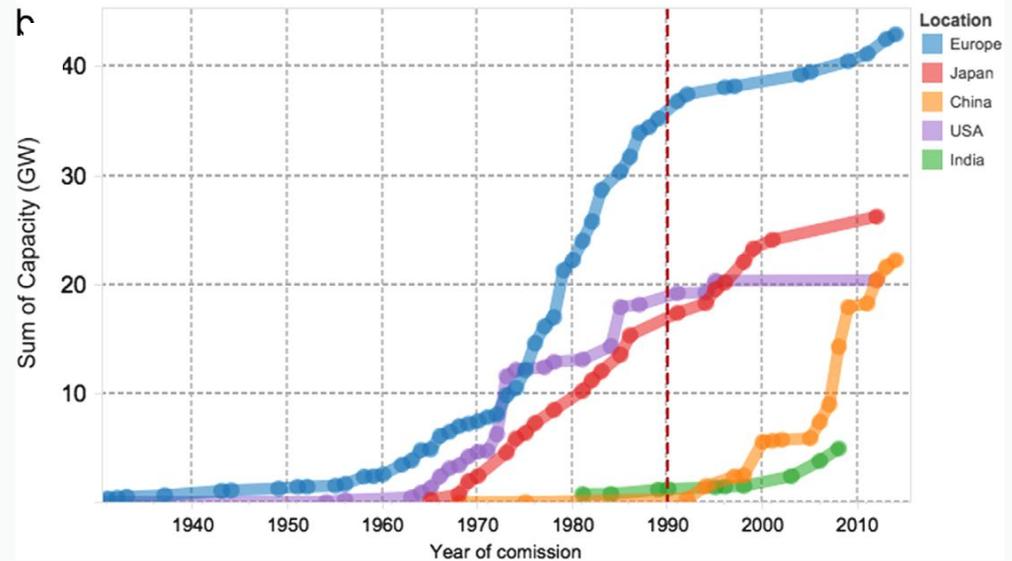
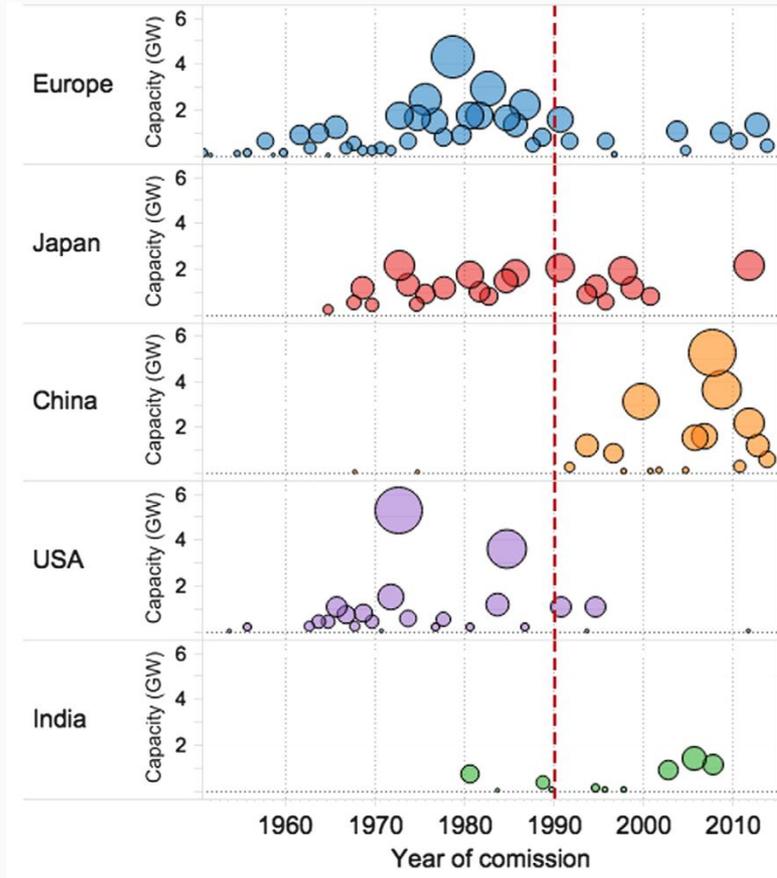


### Noruega

- 2,4 GW de almacenamiento
- Mercado liberalizado
- 95% gen. hidroeléctrica
- Almacenamiento estacional
- Penetración eólica (off-shore)

# 2- Almacenamiento de Energía en el Mundo

## Análisis Comparativo



Fuente: A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets, Birmingham Centre for Energy Storage, University of Birmingham



# 2- Almacenamiento de Energía en el Mundo

---

## Síntesis

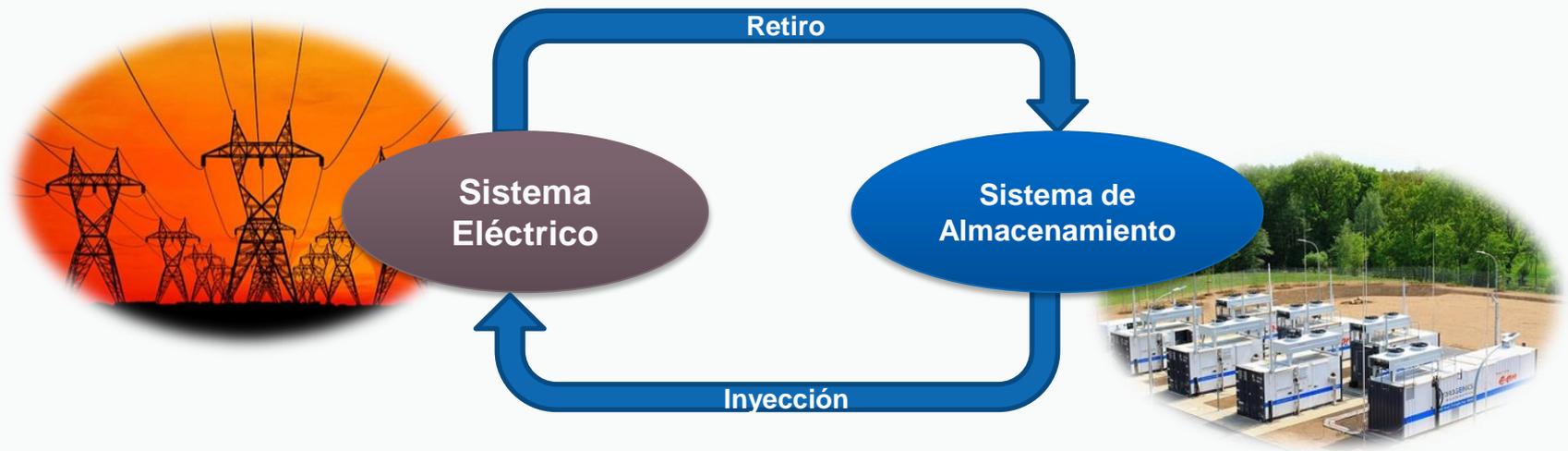
- Integración de almacenamiento de energía a gran escala ha ocurrido en diferentes contextos de mercado eléctrico dependiendo de los impulsos que define cada país. Desarrollo histórico se produjo fundamentalmente en esquemas pre-liberalización.
- Ha existido consenso en los mercados analizados respecto de los beneficios sistémicos que pueden significar los sistemas de almacenamiento.
- Es posible observar una relación directa con políticas de integración de energías renovables, que ha sido su principal *driver* en la última década.
- Mercado ha requerido ajustes regulatorios para reconocer los beneficios sistémicos que pueden significar los sistemas de almacenamiento, despejando barreras de entrada a su integración y resguardando las condiciones de competencia a todos los actores.
- Los mercados analizados, en su mayoría, han reconocido el aporte y complemento de los sistemas de almacenamiento con otras soluciones para lograr el cumplimiento de metas y políticas energéticas nacionales de largo plazo.
- Los esquemas de pagos basados en costo de infraestructura han significado mecanismos más estables de ingresos al inversionista y podrían permitir mayores beneficios sistémicos.
- Los servicios complementarios han permitido ofrecer ingresos mayores para los sistemas de almacenamiento en los mercados liberalizados.

## **3- Marco Regulatorio**

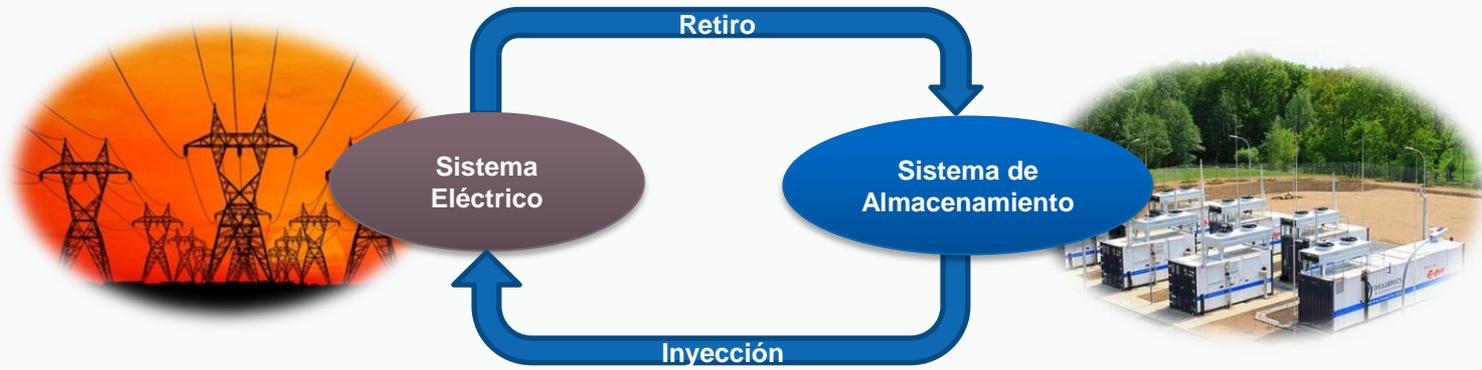
## 3.1- Marco Regulatorio: Ley 20.936 (2016)

Por primera vez la legislación define los **Sistemas de Almacenamiento**

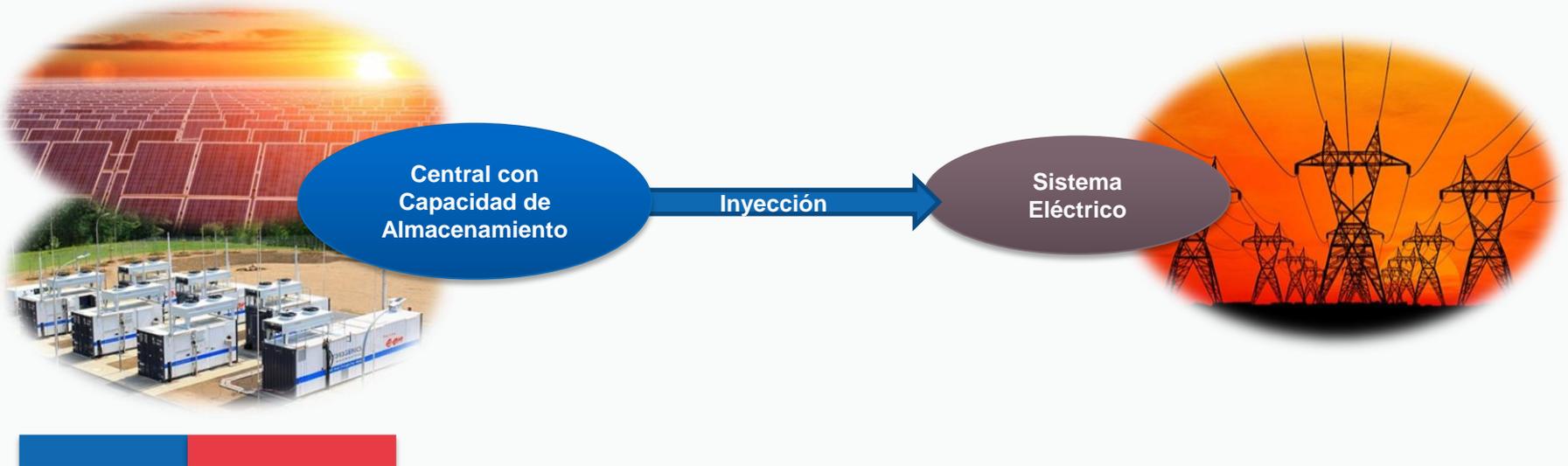
**Sistemas de Almacenamiento:** Equipamiento tecnológico capaz de retirar energía desde el sistema eléctrico, transformarla en otro tipo de energía (química, potencial, térmica, entre otras) y almacenarla con el objetivo de, mediante una transformación inversa, inyectarla nuevamente al sistema eléctrico, contribuyendo con la seguridad, suficiencia o eficiencia económica del sistema, según lo determine el reglamento. (Artículo 225°, literal ad)



## Sistema de Almacenamiento



## Central con Capacidad de Almacenamiento



## 3.1- Marco Regulatorio: Ley 20.936 (2016)

---



### **Habilitación para efectuar retiros y tratamiento de los mismos**

Los retiros efectuados en el proceso de almacenamiento no estarán sujetos a los cargos asociados a clientes finales, siendo el reglamento el que establecerá las disposiciones aplicables a dichos retiros. (Artículo 225°, literal ad)

### **Calidad de coordinados**

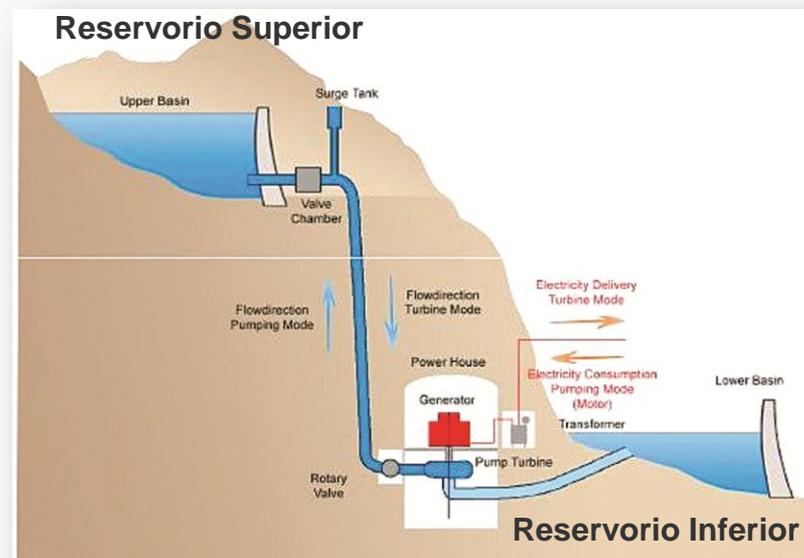
Todo propietario, arrendatario, usufructuario o quien opere, a cualquier título Sistemas de Almacenamiento de energía, y que se interconecte al sistema, estará obligado a sujetarse a la coordinación del sistema que efectúe el Coordinador de acuerdo a la normativa vigente.

El reglamento podrá establecer exigencias distintas para los coordinados de acuerdo a su capacidad, tecnología, disponibilidad o impacto sistémico, entre otros criterios técnicos. (Artículo 72°-2)

## 3.2- Marco Regulatorio: Decreto 128/2016

### Reglamento de Centrales de Bombeo sin Variabilidad Hidrológica

- Opera con dos reservorios de acumulación de agua, localizados de forma que exista una diferencia de altura entre ellos que permita el bombeo de agua para su almacenamiento y posterior uso en generación eléctrica.



### Variabilidad Hidrológica

- Una central de bombeo **NO** está sujeta a variabilidad hidrológica cuando:
  - El reservorio inferior tiene un volumen tal que se mantiene la disponibilidad del recurso hídrico sin limitar la operación de la central a potencia nominal.
  - El reservorio superior no tiene extracciones distintas a las asociadas a la generación.
  - El reservorio superior presenta afluentes naturales menores y de baja probabilidad de ocurrencia (<1% volumen total de acumulación).

## 3.2- Marco Regulatorio: Decreto 128/2016

---



### Reglamento de Centrales de Bombeo sin Variabilidad Hidrológica

- Habilitación para efectuar retiros y tratamiento de los mismos
- Grado de coordinación y programación de la operación
- Determinación de costo variable
- Prestación de Servicios Complementarios
- Determinación de potencia inicial y cálculo de indisponibilidad forzada
- Consideración de retiro en demanda de punta y demanda de punta equivalente



## 3.3- Marco Regulatorio: Norma Técnica

---

### NTSyCS: Equipos de Compensación de Energía Activa

- Equipo **electrónico de potencia** capaz de inyectar potencia activa a la red en forma rápida y sostenerla durante un tiempo prefijado, dentro de todos los rangos aceptables de frecuencia y tensión del sistema interconectado, **ante variaciones de frecuencia.**
- Disposición para el control de frecuencia primario o secundario.
- Reserva en Giro del sistema incluye el aporte que pueden hacer estos Equipos.
- Calidad de Coordinado: quien explote a cualquier título un Equipo de Compensación de Energía Activa.
- Sistema de comunicación para proveer al Coordinador toda la información que éste determine necesaria para la supervisión y coordinación de la operación en tiempo real y el sistema de monitoreo.
- Utilización para implementación de aporte al EDAC por subfrecuencia en instalaciones de clientes.

**NT de homologación de las materias contenidas en los procedimientos DO y DP de Servicios Complementarios (Marzo 2017)**



## **4- Integración de Sistemas de Almacenamiento en Chile**

# 4- Integración de Sistemas de Almacenamiento en Chile



## Arbitraje de Energía

- Modos de Operación
- Habilitación para efectuar Retiros
- Participación en Balances
- Tratamiento de los Retiros
- Prestación de SSCC
- Programación de la Operación
- Determinación de CVar
- Cargos Retiros por Suficiencia
- Determinación de Pot. de Suf.



## Reglamento Planificación

## Infraestructura de Transmisión

- Criterios de Planificación
- Coordinación de la Operación
- Mecanismo de Remuneración
- Tratamiento de Inyecciones y Retiros



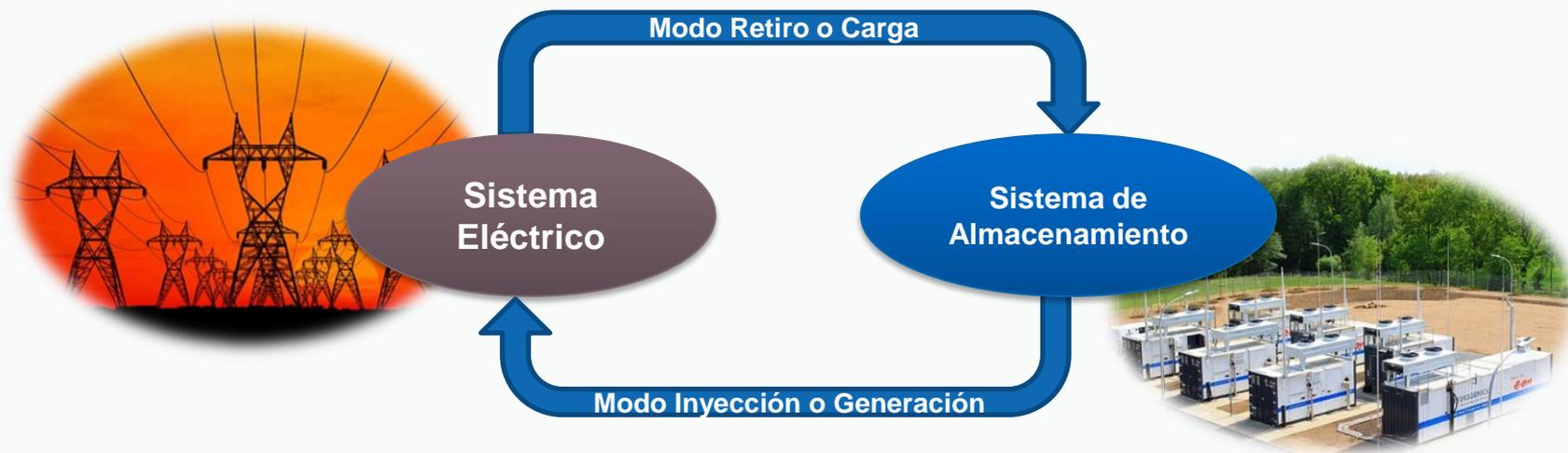
## Reglamento SSCC

## Servicios Complementarios

- Nuevo Régimen de SSCC
- Coordinación de la Operación
- Tratamiento de los Retiros
- Mecanismo de Remuneración

# 4.1- Integración: Arbitraje de Energía

## Aspectos Generales



- Sistemas de Almacenamiento que se interconecten al sistema eléctrico estarán **sujetos a la coordinación** de la operación del Coordinador.
- El Coordinador puede instruir el cambio del modo de operación de un Sistema de Almacenamiento en virtud del cumplimiento de la obligación de preservar la **seguridad del sistema**.
- Habilitación para participación en **balance de transferencias** (inyecciones y retiros).
- Prestación de Servicios Complementarios requiere consideraciones de remuneración y coordinación de la operación evitando dobles pagos, cuando corresponda.

# 4.1- Integración: Arbitraje de Energía

---

## Retiros del Sistema de Almacenamiento

- Consumo de energía desde el sistema eléctrico para operar en Modo de Retiro o Carga se considerará como un retiro efectuado por los propietarios, arrendatarios, usufructuarios o quienes exploten a cualquier título un Sistema de Almacenamiento, quienes estarán **facultados** para realizar tales retiros.
- Los retiros de energía desde el sistema eléctrico para la operación en Modo de Retiro o Carga no podrán ser destinados a la comercialización con distribuidoras o clientes libres.
- Estos retiros no se considerarán para los siguientes efectos:
  1. Acreditación cumplimiento de obligación ERNC (Artículo 150° bis de la LGSE).
  2. Pago correspondiente a clientes finales por uso de los sistemas de transmisión.
  3. Asignación de ajuste por precio estabilizado a PMGD/PMG.
  4. Cálculo de las prorratas de asignación de certificados emitidos producto de la inyección de energía licitada y efectivamente inyectada (inciso tercero, Artículo 150° ter de la LGSE).
  5. Pago asociado a clientes finales por servicios complementarios.

# 4.1- Integración: Arbitraje de Energía

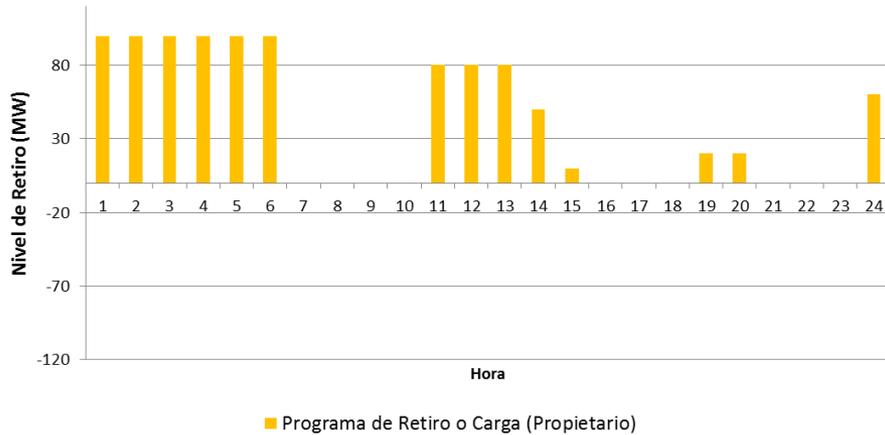
## Programación de la Operación

- El Coordinado debe informar periódicamente al Coordinador su **Programa de Retiro o Carga** en un horizonte de tiempo.
- El Coordinador determinará el horizonte de tiempo según las características técnicas del Sistema de Almacenamiento.
- El Coordinador determinará un **Programa Eficiente de Inyecciones y Retiros** para el Sistema de Almacenamiento.
- El Coordinador debe comparar el Programa entregado por el Coordinado y el Programa Eficiente, determinando las horas que **no contribuyen a la operación económica y segura del sistema** (niveles de retiro superiores a los determinados en el Programa Eficiente).
- El Coordinador entregará al Coordinado:
  - Programa Eficiente de Inyecciones y Retiros.
  - Calificación de las horas del Programa del Coordinado.
  - Propuesta para modificar el Programa de Retiros o Carga.
- El Coordinado debe presentar al Coordinador un **Programa Definitivo de Retiro o Carga**.

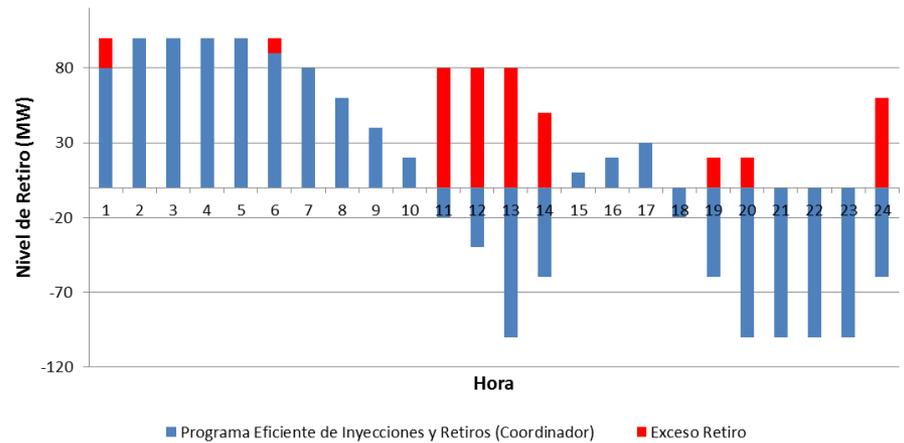


# 4.1- Integración: Arbitraje de Energía

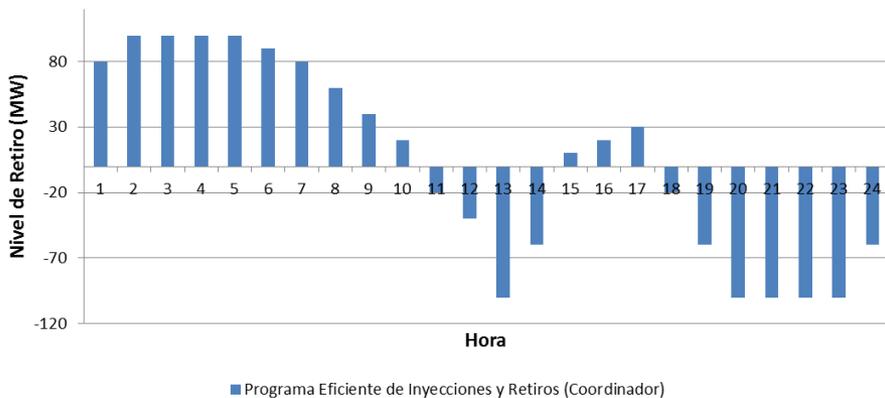
**Programa de Retiro o Carga (Propietario)**



**Comparación de Programas**



**Programa Eficiente de Inyecciones y Retiros (Coordinador)**



# 4.1- Integración: Arbitraje de Energía

---

## Determinación de Costos Variable

- El costo variable de un Sistema de Almacenamiento, utilizado para la programación de la operación, será calculado por el Coordinador y debe considerar:
  - El valor de la energía retirada del sistema a costo marginal durante un periodo de tiempo (ventana de valorización).
  - Las pérdidas de energía ocurridas en el proceso de almacenamiento e inyección de energía.

$$CVar = \frac{\text{Valorización Energía Retirada}_{\text{ventana}}}{\text{Energía Retirada}_{\text{ventana}}} * \text{Factor de Pérdidas}$$

- El Factor de Pérdidas será determinado por el Coordinador en base a información proporcionada por los Coordinados.
- Los Coordinados podrán solicitar justificadamente al Coordinador modificar la ventana de valorización, el cual deberá evaluar si ello permite una mejor utilización de los recursos disponibles de acuerdo a las condiciones que se prevean para la operación del sistema eléctrico.

# 4.1- Integración: Arbitraje de Energía

## Potencia de Suficiencia

- Para el cálculo de la Potencia Inicial, el Coordinador determinará un Factor de Disponibilidad (FD) (requiere información estadística):

$$FD = \frac{\sum_{i=1}^{H_A} n_i}{H_A}$$

- Donde:

$$n_i = \min\left(\frac{h_i}{5}, 1\right)$$

$h_i$ : Cantidad de horas en que el Sistema de Almacenamiento de Energía hubiese podido operar a potencia máxima de acuerdo a la energía almacenada informada en la hora  $i$ .

$H_A$ : Horas totales del año correspondiente.

- El FD a utilizar será el menor de los últimos 5 años.
- Para la Indisponibilidad Forzada (IFOR) se debe considerar:
  - Horas en que habiendo sido convocado al despacho en la operación real, no concurrió a inyectar energía.
  - Horas en que retiró energía del sistema, cuando el Programa Eficiente de Inyecciones y Retiros, determinado por el Coordinador, haya señalado que debía inyectar energía.

# 4.1- Integración: Arbitraje de Energía

---



## Cargos a Retiros por Potencia de Suficiencia

- Sólo cuando los retiros ocurran en horas que no contribuyen a la operación económica y segura del sistema:
  - Los retiros serán considerados en la determinación de la Demanda de Punta del Sistema.
  - Los retiros serán considerados en la Demanda de Punta Equivalente asignada al Coordinado.

# 5- Temas Mesa de Trabajo N°2

# 5- Temática Mesa de Trabajo N°2

---



- Análisis, Modificaciones y Conclusiones a partir de Mesa de Trabajo N°1
- Centrales Generadoras con Capacidad de Almacenamiento
- Centrales de Bombeo con Variabilidad Hidrológica

**CNE**