

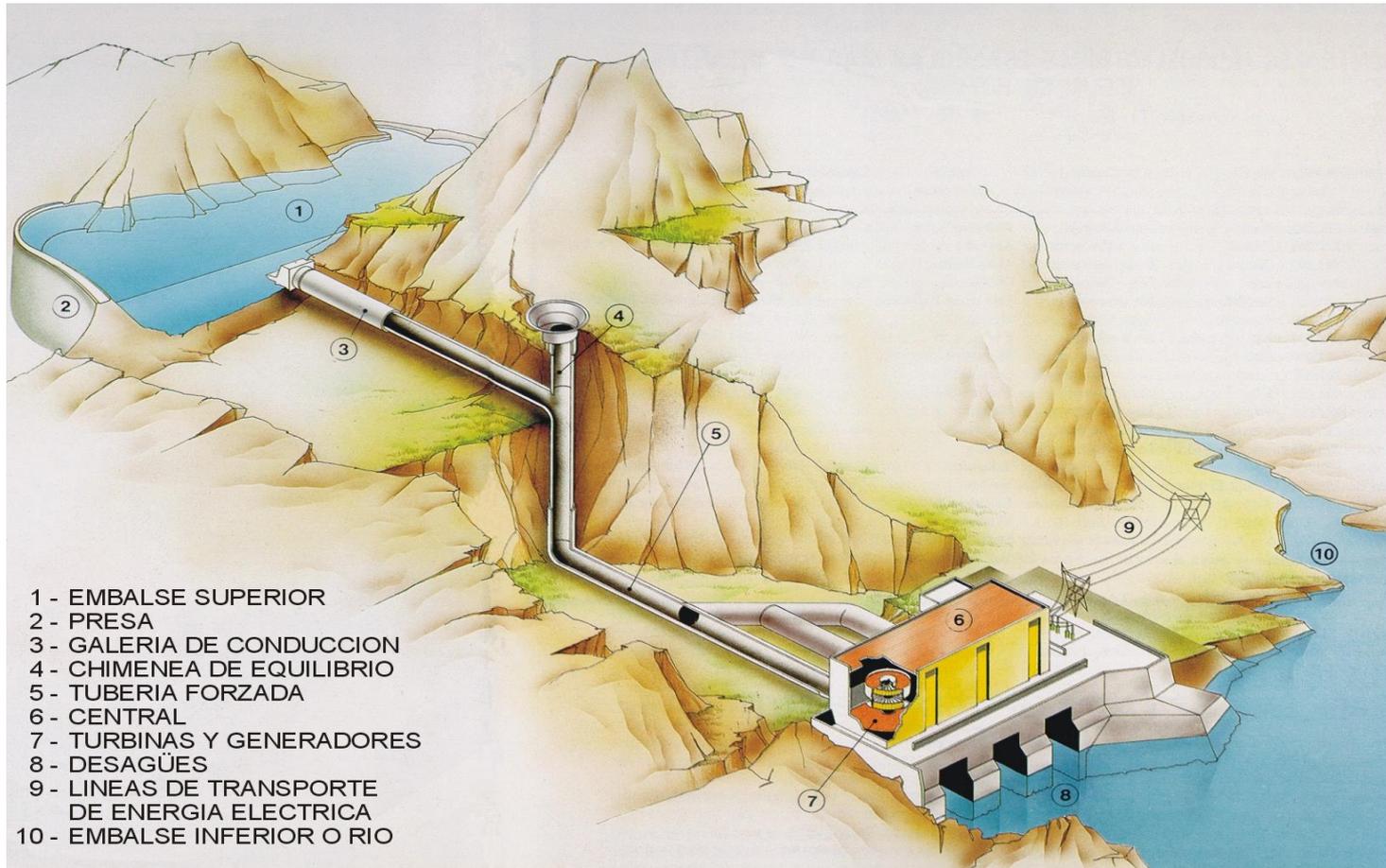


Ciclo de charlas “Almacenamiento con Energías Renovables”

El almacenamiento hidráulico: Centrales reversibles.

Baldomero Navalón
Octubre 2020

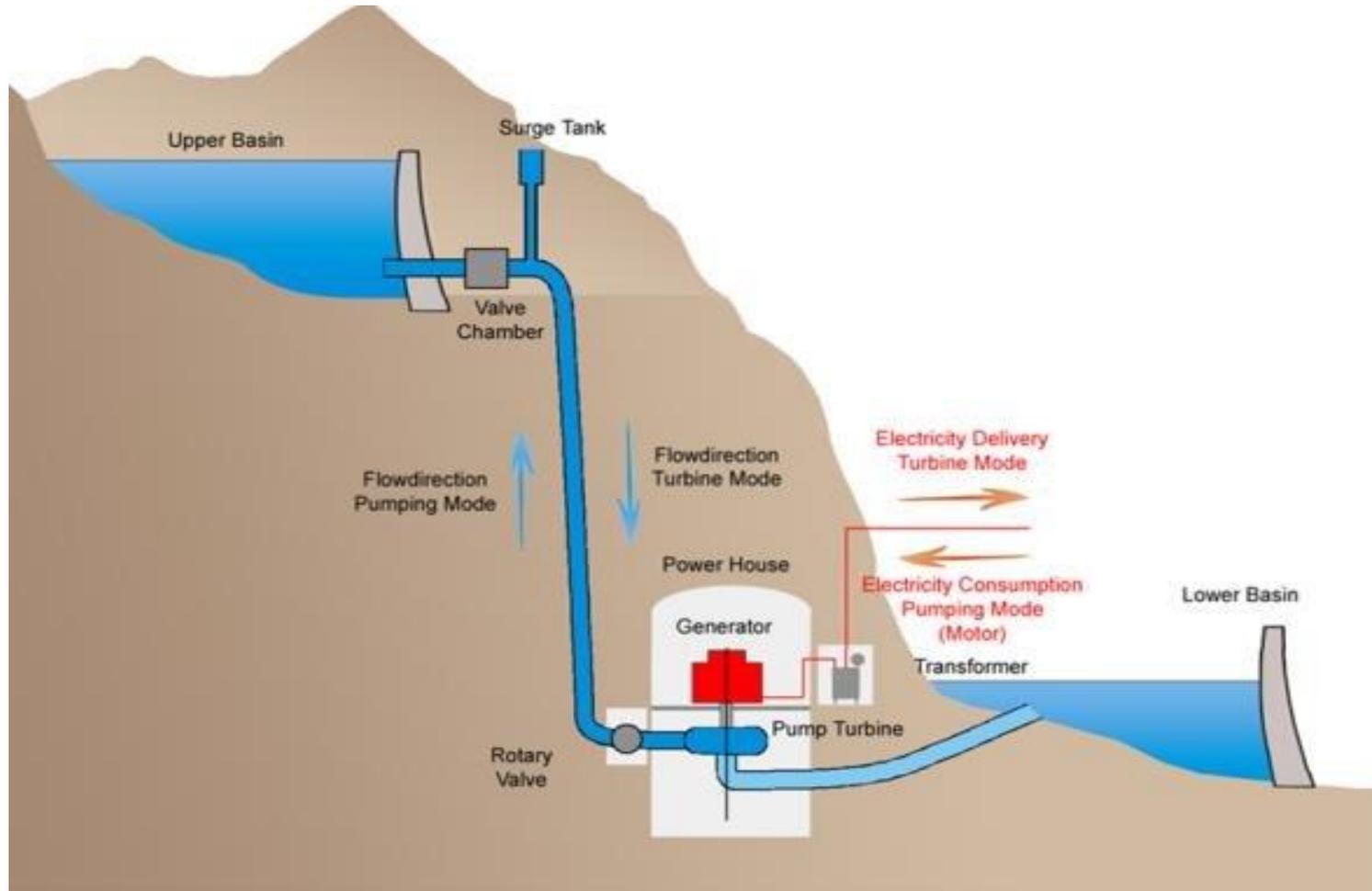
CENTRAL REVERSIBLE de pie de presa



ALMACENAMIENTO HIDRÁULICO o ALMACENAMIENTO POR BOMBEO

Central Hidroeléctrica reversible: producción y consumo de energía eléctrica

CENTRAL REVERSIBLE Subterránea



ALMACENAMIENTO HIDRÁULICO o ALMACENAMIENTO POR BOMBEO

Tipología aprovechamientos hidroeléctricos reversibles

BOMBEO PURO/Closed loop



Ludington (Lago Michigan) 1.872 MW



Goldishtal (Alemania) 1.060 MW

BOMBEO MIXTO/Open loop



Torrejón Tajo y Tietar 140 MW



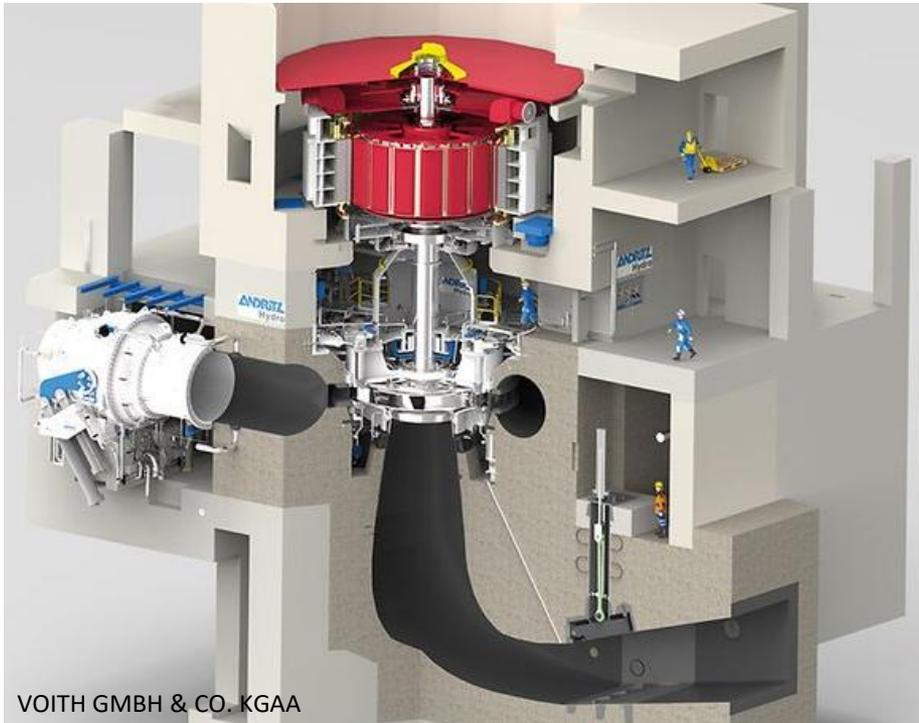
Guandgon (China) 2.400 MW

Tipología según el tipo de maquinaria

- Según el nº de elementos acoplados en el eje:

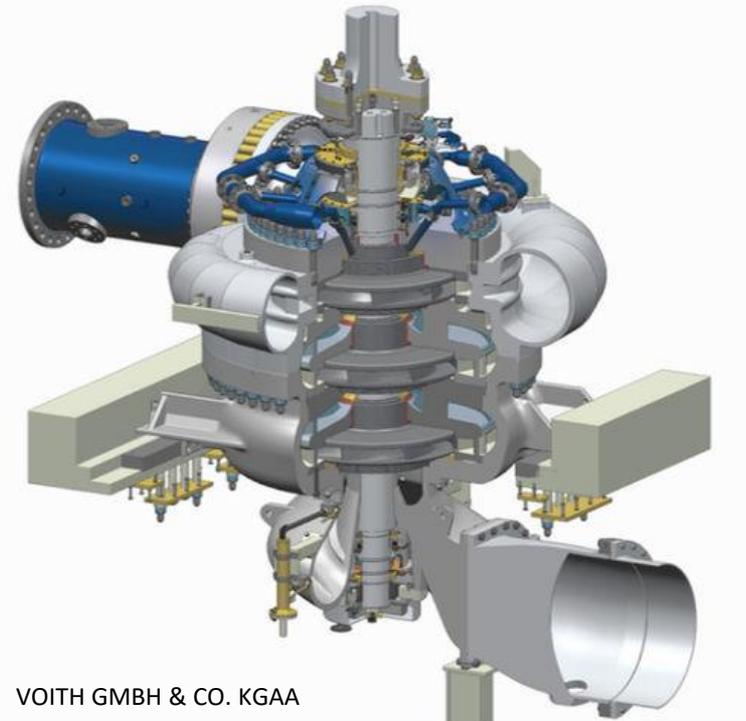
BINARIA

Generador/motor y turbina-bomba



TERNARIA

Generador/motor, una turbina y una bomba acopladas sobre el mismo eje



- Según la velocidad de giro:

Velocidad fija (potencia en bombeo constante)

Velocidad variable (potencia en bombeo regulable de 0 a 100%)

La energía hidroeléctrica. Características

Energía primaria : caudal de agua en los ríos

Favorables

- **Recurso renovable**
- Energía limpia
- Instalaciones de larga vida útil
- **Tecnología madura**
- Moderados gastos de operación y mantenimiento
- **Rapidez para atender la curva de carga del sistema eléctrico**

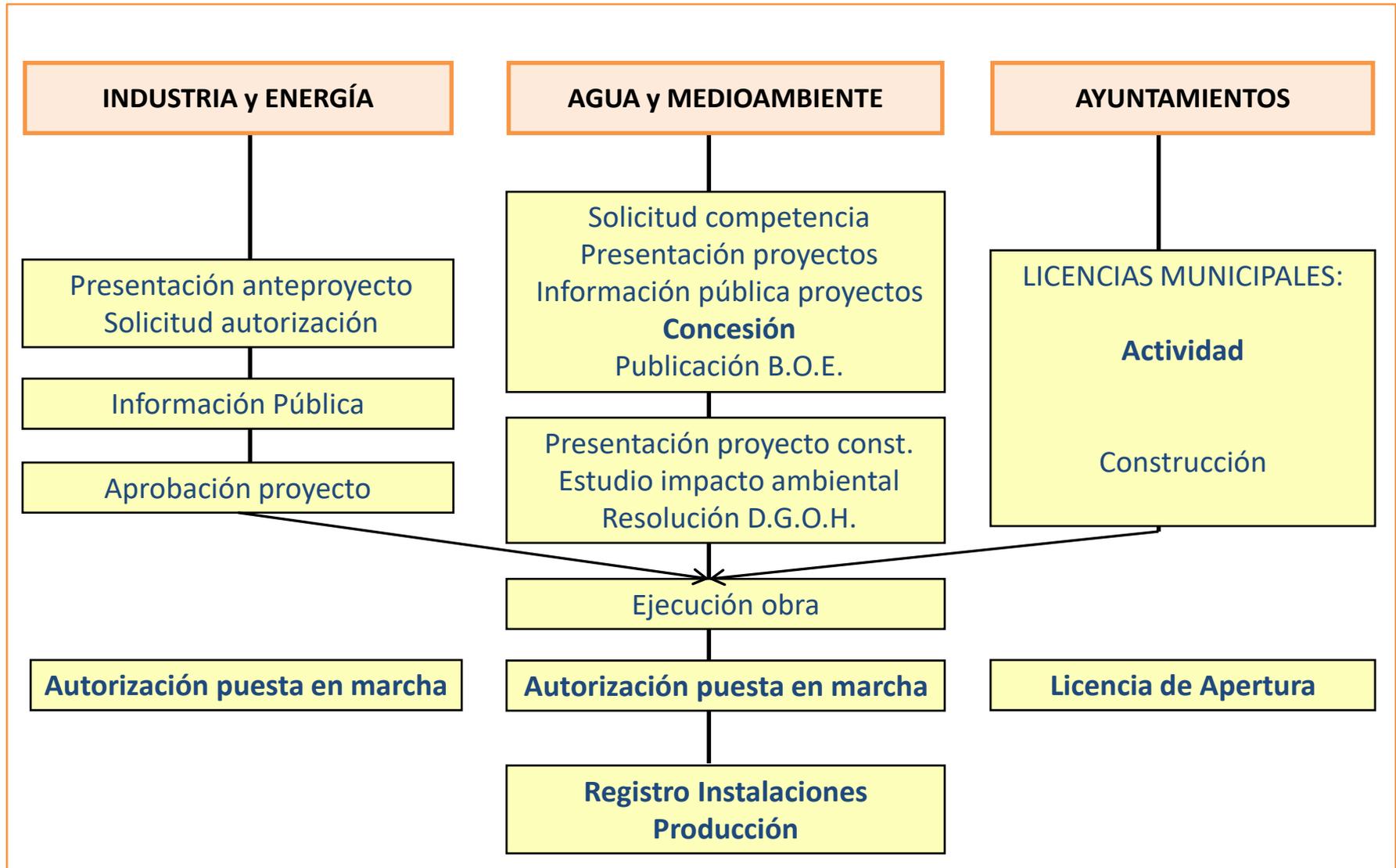
Desfavorables

- Recurso natural escaso
- Irregularidad hidrológica
- Limitación de los recursos
- Interferencia con otros usos del agua
- **Inversión inicial elevada**
- **Tramitación administrativa compleja**

Centrales hidráulicas

- Estrecha relación con la naturaleza : topografía, geología, hidrología, entorno ambiental
- Singularidad
- Incertidumbre
- **Negocio intensivo en capital : inversión considerable, largos periodo de retorno, riesgo**
- **Complejidad técnica: diversidad, baja normalización**

Tramitación administrativa

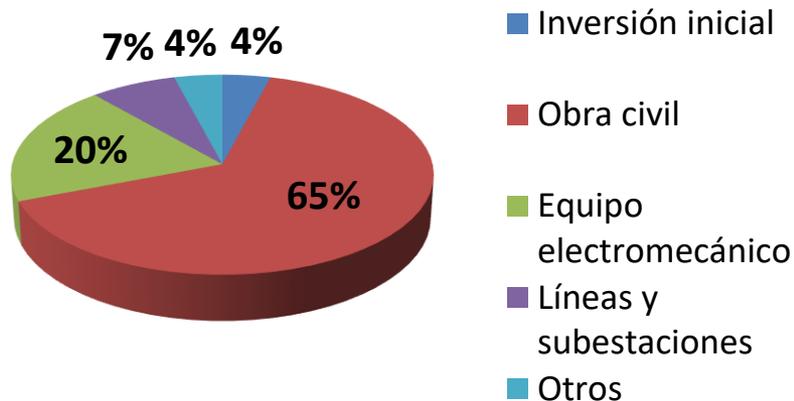


Costes de una central de bombeo

- Embalses superior e inferior de nueva construcción o existentes (presa o depósito) y su volumen de almacenamiento
- Tipología de la central : subterránea o pie de presa
- Longitud del circuito hidráulico
- Las condiciones naturales del emplazamiento (geología, topografía, hidrología)
- Distancia al punto de conexión a la red eléctrica de alta tensión
- Medidas compensatorias medioambientales y socioeconómicas

INVERSIÓN INICIAL : 0,5 M€/MW 0,9 M€/MW 2,0 M€/MW

Estructura de costes



- Isla de Tasmania (Australia) 4.800 MW
0.9 a 1,4 M€/MW
- Támeqa (Portugal) 1.150 MW y 1.200 M€
- Snowy 2.0 (Australia) 2.000 MW y \$3,8 a \$4,5 billion
- Reisseck II (Austria) 430 MW y 400 M€

Tipología de nuevos proyectos de almacenamiento por bombeo

❑ **Greenfield**

Construcción de embalses/depósitos superior e inferior, circuito hidráulico con órganos de protección y cierre, central con turbina/bomba, control, línea de evacuación de energía, subestación con diseño de arranque back to back, accesos, etc.

10 años
De 1 a 2 M€/MW

❑ **Aprovechando un embalse existente**

Se aprovecha un embalse ya existente y se construye un depósito superior evitando la construcción de las presas, menor impacto ambiental si bien exige vaciar parcialmente el embalse para la construcción. Resto de obras como greenfield si bien en ocasiones ya existe la línea de evacuación de energía. Bombeo puro.

8 a 10 años
De 0,9 a 1,3 M€/MW

❑ **Entre dos embalses existentes**

Se aprovechan dos embalses ya existentes evitando la construcción de las presas, expropiaciones de terrenos, menor impacto ambiental si bien exige vaciar parcialmente los embalses para la construcción. Resto de obras como greenfield si bien en ocasiones ya existe la línea de evacuación de energía.

6 a 10 años
De 0,5 a 1 M€/MW

❑ **Sustitución de turbina por turbina/bomba**

Se aprovecha una central hidroeléctrica ya existente en cascada entre dos embalses. Se sustituye la turbina por una turbina/bomba. No siempre es viable y es necesario modificar el circuito hidráulico, el control, protecciones, subestación, etc.

4 a 8 años
De 0,2 a 0,5 M€/MW

PNIEC y el almacenamiento de energía

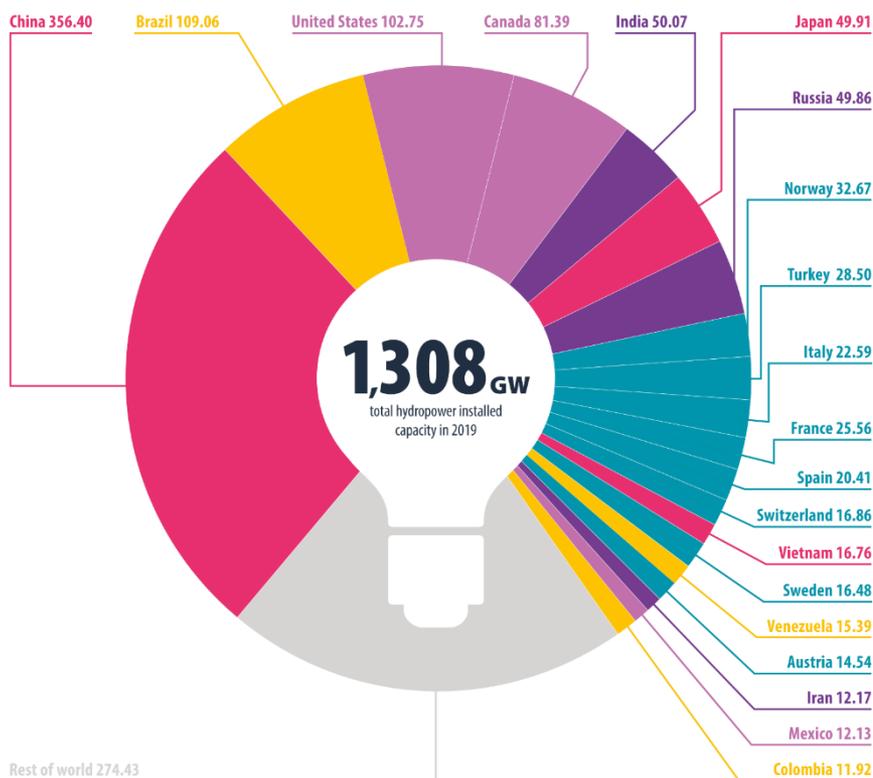
Objetivos 2030	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducir un 23% las emisiones de GEI respecto al nivel del año 1990 ✓ 74% de la electricidad producida con fuentes renovables (38% hoy) ✓ Mejorar en un 39,5% la eficiencia energética ✓ Como mínimo el 42% de la demanda final de energía debe proceder de energías renovables
Objetivos 2050	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducir al menos en un 90% las emisiones de GEI respecto al nivel de 1990 ✓ 100% de la electricidad producida con fuentes renovables

GW	2015	2020	2025	2030
Eólica	22,9	28,0	40,6	50,3
Solar fotovoltaica	4,8	9,1	21,7	39,2
Solar termoeléctrica	2,3	2,3	4,8	7,3
Hidráulica	14,1	14,1	14,3	14,6
Bombeo Mixto	2,7	2,7	2,7	2,7
Bombeo Puro	3,3	3,3	4,2	6,8
Baterías			0,5	2,5
TOTAL Sistema	105,7	111,8	133,8	160,8
Producción Bombeo	3,2	4,6	5,5	8,3
Producción Baterías			0,5	3,7
Consumo Bombeo y Baterías	4,5	6,4	8,0	15,3

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima incluye la puesta en servicio de almacenamiento por bombeo de 0,9 GW en 2025 y 3,5 GW en 2030

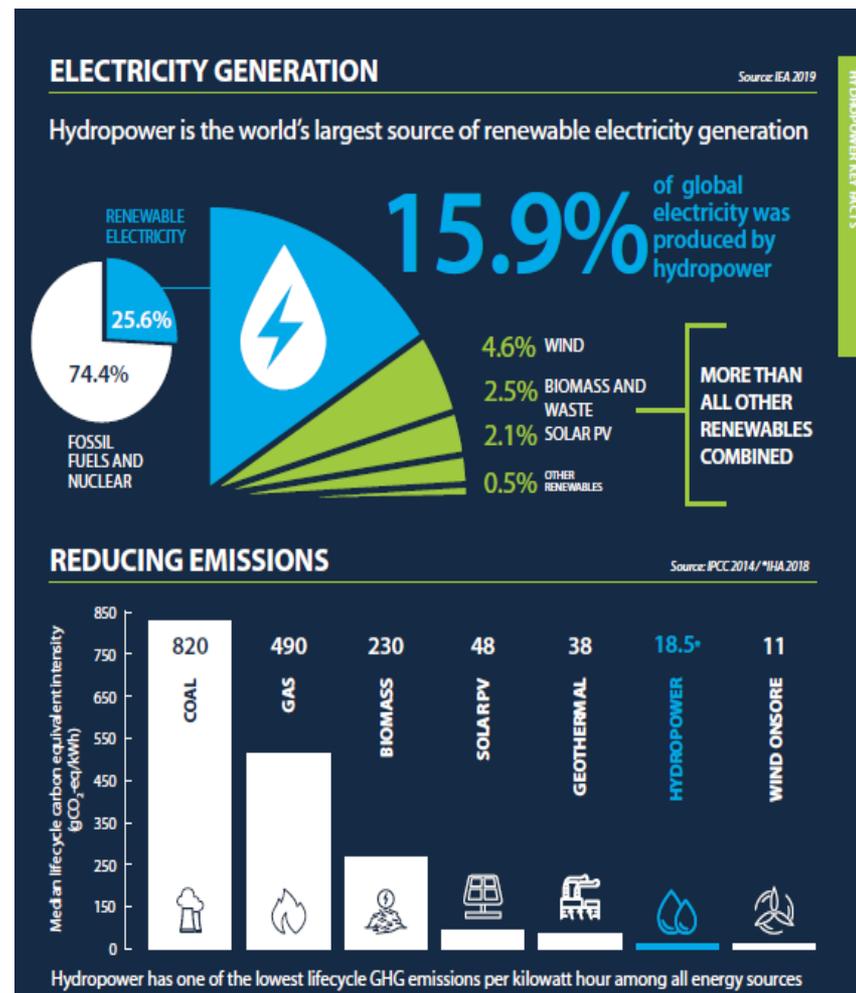
Energía hidroeléctrica a 31/12/2019

	Mundial	España
Potencia (GW)	1.308	20,4
Producción (TWh)	4.306	23,5
Horas funcionamiento	3.290	1.150



Rest of world 274.43

Fuente: IHA Hydropower Status Report 2020



15,6 GW hidráulicos instalados en 2019

Almacenamiento por bombeo instalado a 31/12/2019



158 GW potencia instalada
(94% capacidad almacenamiento)

9.000 GWh almacenamiento
(96% energía almacenada)

ESPAÑA	Bombeo puro	Bombeo mixto
Potencia (GW)	3,3	2,7
Producción (TWh)	2,0	1,2
horas	600	450
Consumo (TWh)	2,8	1,7
horas	850	600

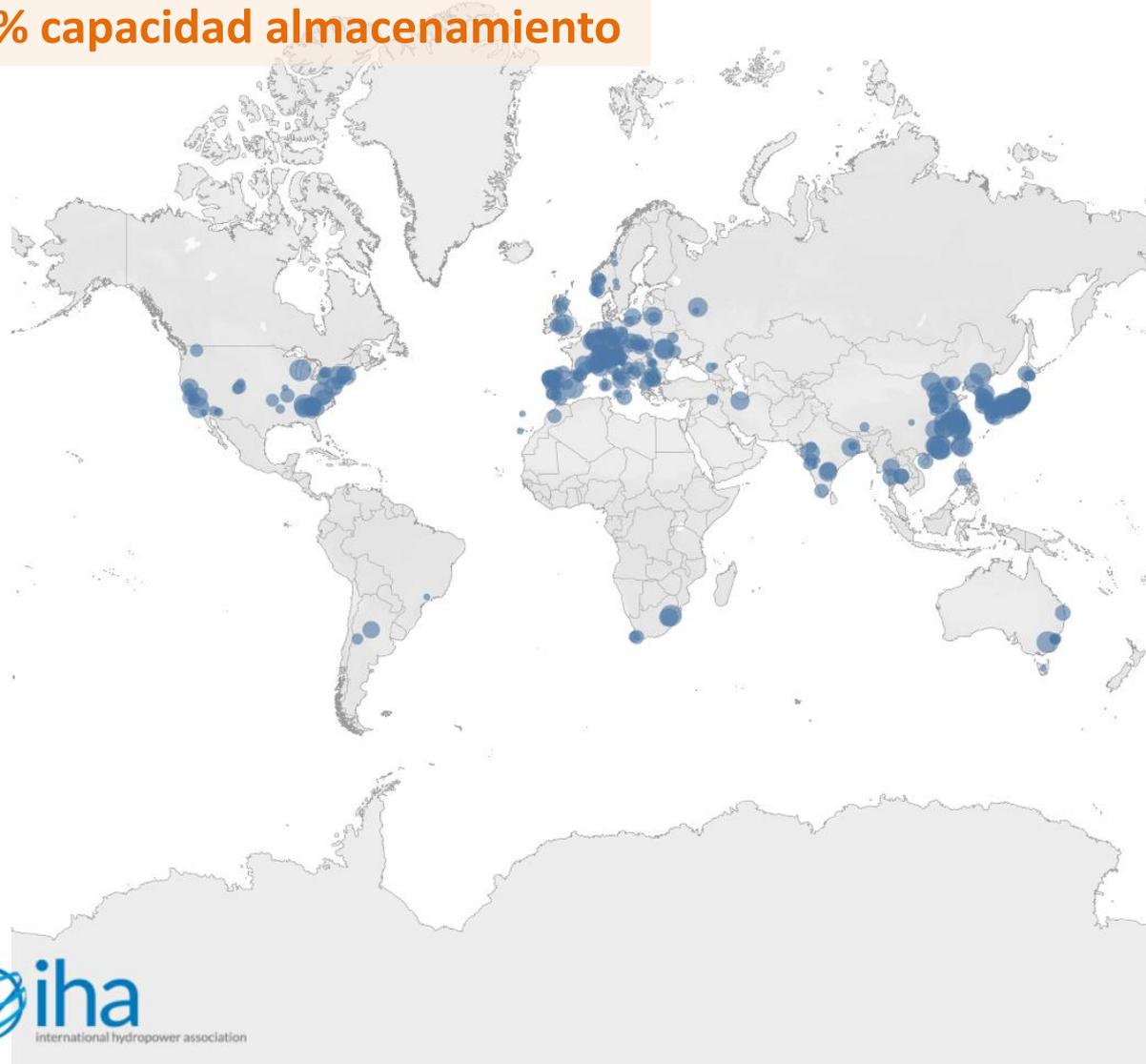
Potencia mundial instalada en 2019 : 0,34 GW (*)

Francia : 44 MW China : 300 MW

(*) 1,9 GW instalados en 2018

Almacenamiento por bombeo instalado a 31/12/2019 : Potencia

Potencia instalada: 158 GW
94% capacidad almacenamiento



- Operational Status**
- Operational
 - Under Construction
 - Planned
 - Announced
 - Construction Stalled / On Hold
 - Decommissioned / Cancelled

- Pump-Turbine Type**
- Fixed speed
 - Ternary
 - Variable speed

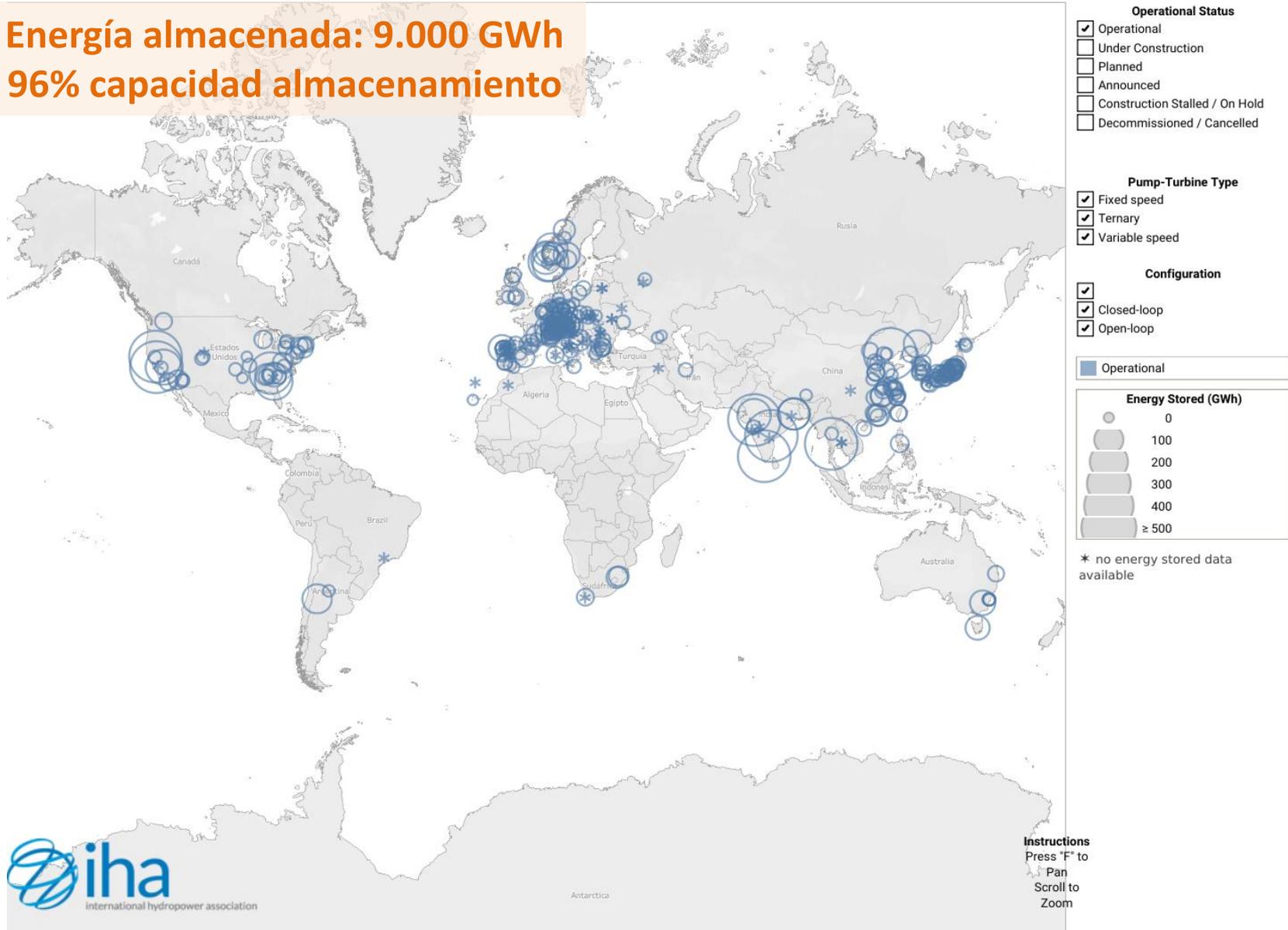
- Configuration**
- - Closed-loop
 - Open-loop

Operational

- Installed capacity (MW)**
- ≤ 50
 - 500
 - 1.000
 - 1.500
 - ≥ 2.000

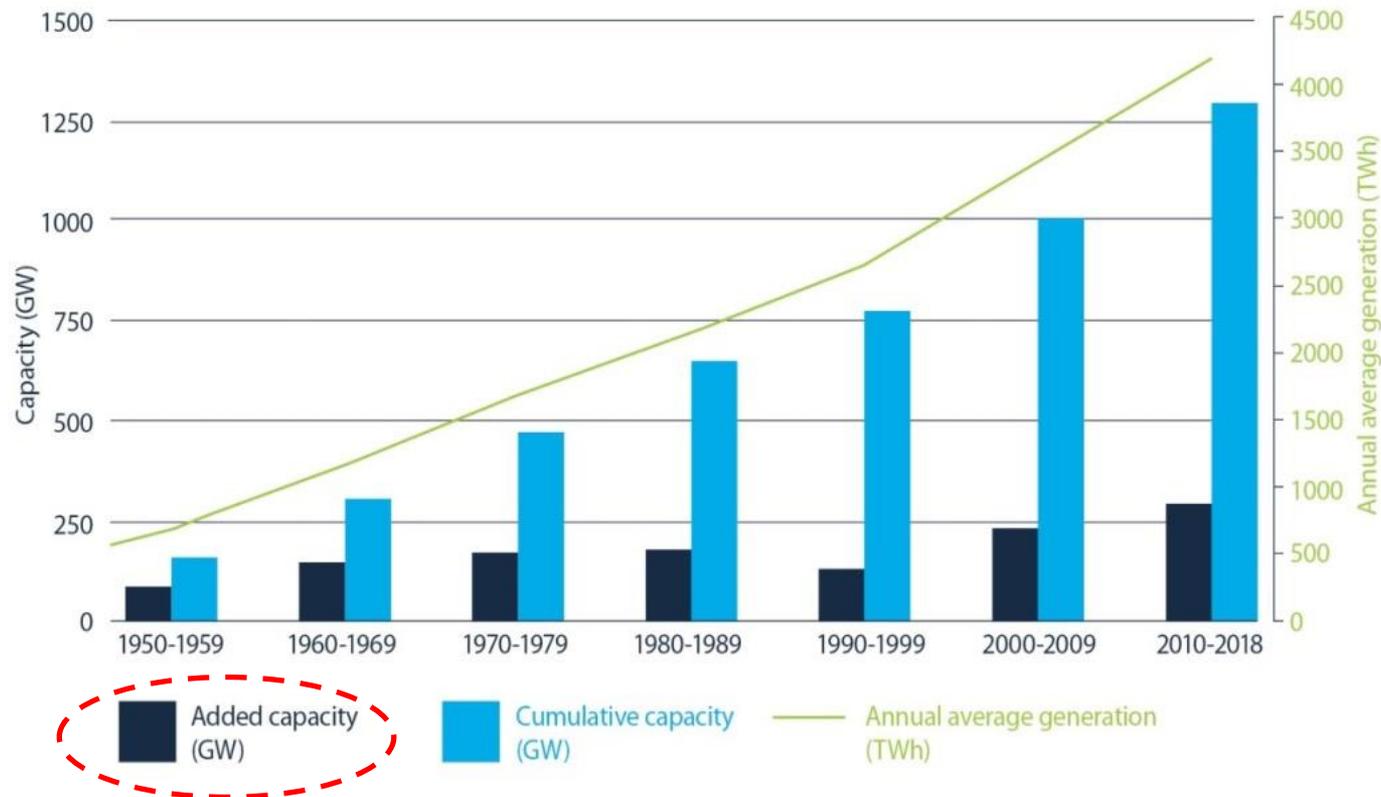
Almacenamiento por bombeo instalado a 31/12/2019: Energía

Energía almacenada: 9.000 GWh
96% capacidad almacenamiento



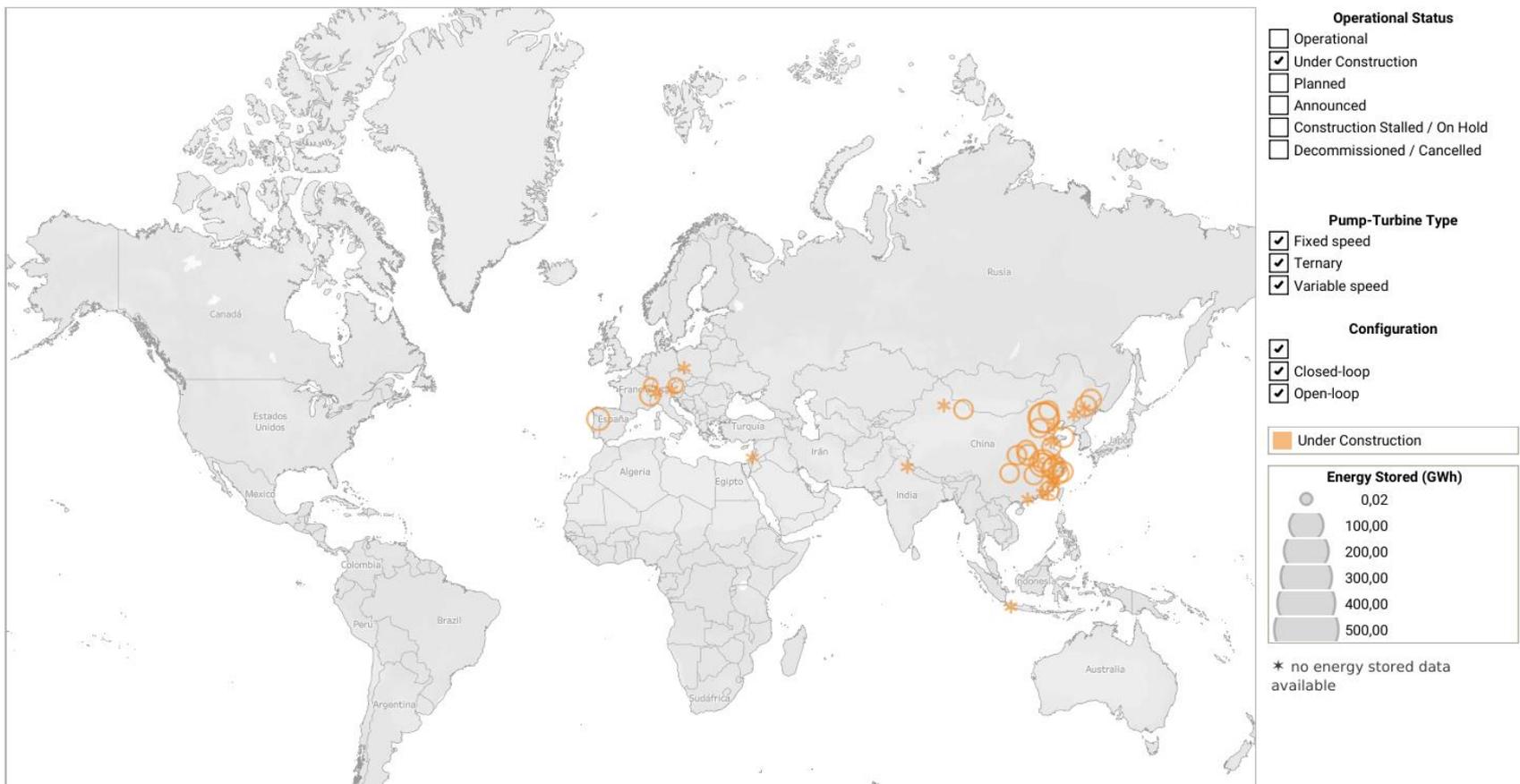
Crecimiento de la potencia hidroeléctrica mundial

HYDROPOWER GROWTH THROUGH THE DECADES



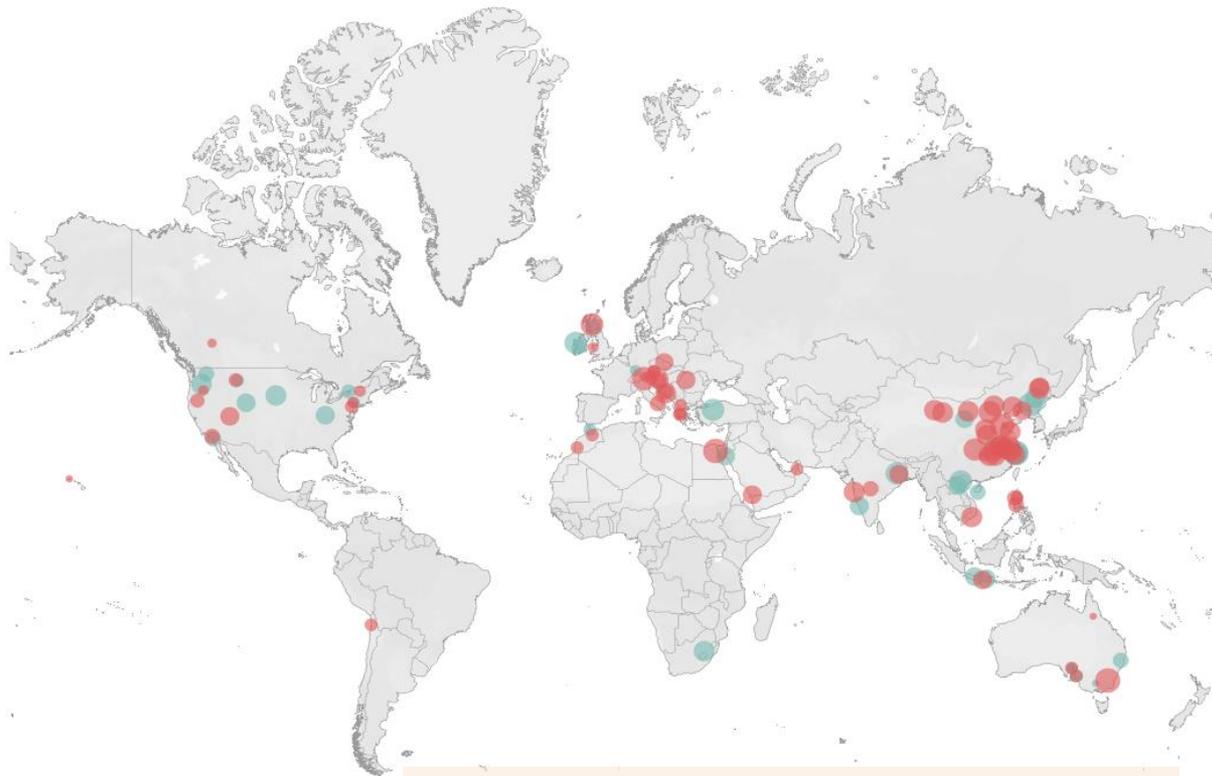
Media anual de 25 a 30 GW hidráulicos instalados en el mundo de los cuales 2 a 3 GW son de centrales de almacenamiento por bombeo

Almacenamiento por bombeo en construcción (Octubre 2020)



Europa:	3.000 MW	6 centrales en Portugal, Suiza, Austria, Francia
Israel:	344 MW	1 central
India:	1.000 MW	1 central
Indonesia	1.040 MW	1 central
China:	33.600 MW	1 x 1.000 MW 10 x 1.200 MW 4 x 1.400 MW 7 x 1.800 MW 1 x 2400 MW

Almacenamiento por bombeo planificado (Octubre 2020)



40 GW adicionales anunciados

- Operational Status**
- Operational
 - Under Construction
 - Planned
 - Announced
 - Construction Stalled / On Hold
 - Decommissioned / Cancelled

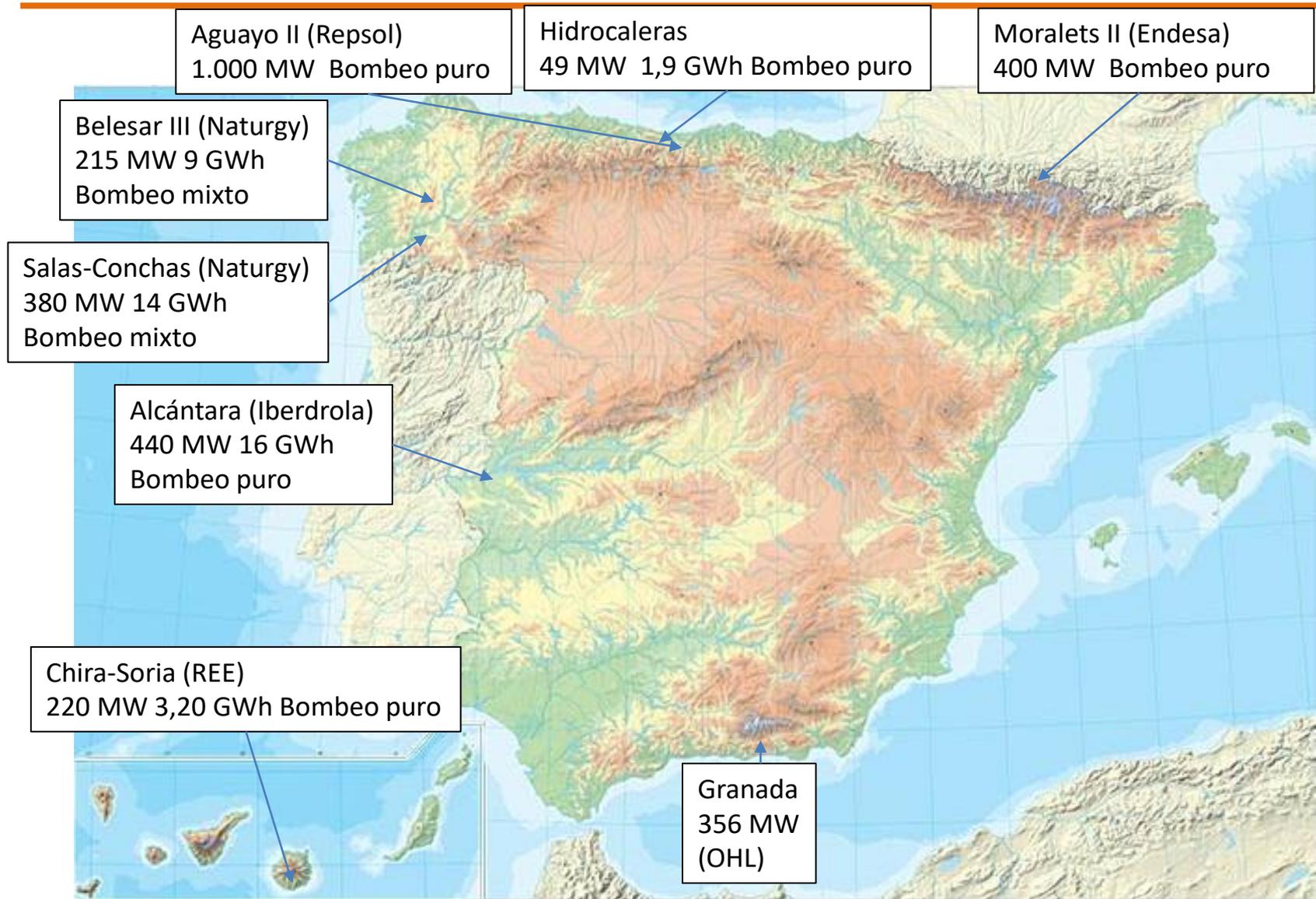
- Pump-Turbine Type**
- Fixed speed
 - Ternary
 - Variable speed

- Configuration**
- - Closed-loop
 - Open-loop

- Planned
- Announced

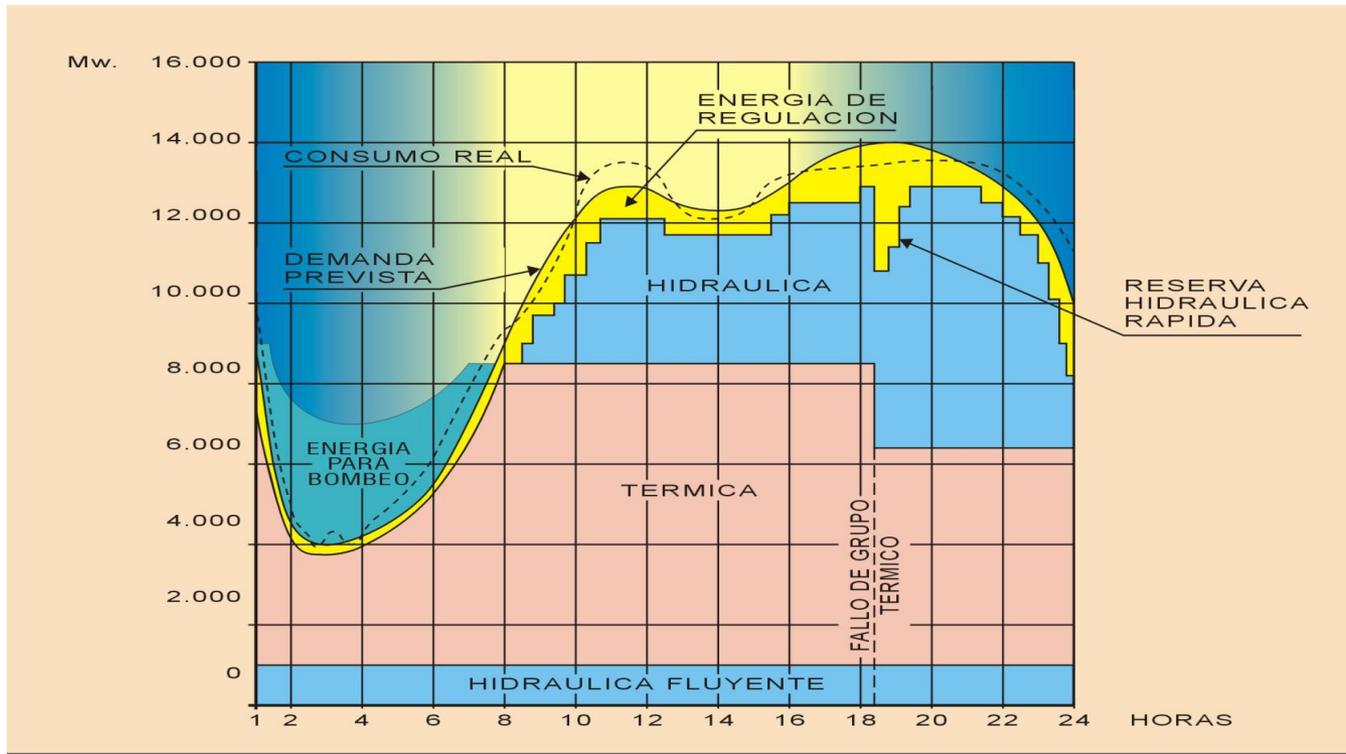
- Installed capacity (MW)**
- ≤ 50
 - 500
 - 1.000
 - 1.500
 - ≥ 2.000

Existen proyectos viables en España?



Función tradicional de un almacenamiento por bombeo

- ✓ Cubrir las puntas de demanda
- ✓ Reserva hidráulica rápida
- ✓ Consumo nocturno de energía producida por centrales térmicas (nuclear, carbón)



- ✓ Ingresos : arbitraje producción en punta y bombeo en valle
- ✓ Servicios complementarios y de ajuste
- ✓ Pago por capacidad

Rol del bombeo en un “sistema eléctrico renovable”

FLEXIBILIDAD, RAPIDEZ DE RESPUESTA y FIABILIDAD

1. Balance de energía

El almacenamiento facilita la integración de las energías renovables gestionando su variabilidad no solamente en base diaria o semanal sino también estacional. Por tanto, el factor clave de un almacenamiento es su tamaño medido en horas de energía

Solar Fotovoltaica	Almacenamiento que funciona en un periodo de 6-8 horas: almacena energía durante las horas de sol y la entrega durante las horas nocturnas
Eólica	Almacenamiento de energía los días de exceso de generación eólica y entrega de energía los días de poco o nulo viento

2. Servicios complementarios

- Regulación de frecuencia de la red (inercia mecánica de los generadores)
- Ajuste de la curva de demanda horaria (Mercado secundaria y terciaria)
- Reposición del servicio ante un cero de tensión en la red
- Potencia firme para el Sistema (pagos por capacidad)
- ¿Estacionalidad? Programación por OS, no arbitraje

Conclusiones : Oportunidades

El almacenamiento de energía por bombeo es imprescindible para la transición fiable y segura hacia un sistema eléctrico basado en energías renovables

Tenemos la tecnología para ello

- ✓ Tecnología madura
- ✓ De elevada eficiencia (70-80%) y sin emisiones de GEI
- ✓ Costes dependientes más de la “naturaleza” que de la técnica
- ✓ Intensiva en capital
- ✓ Planificación a largo plazo (8 a 10 años)

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) indica que en 2030 son necesarios 3,5 GW adicionales de centrales de bombeo puro, una inversión “privada” entre 3.000 y 5.000 M€

Tendremos una Estrategia de Almacenamiento con las aportaciones de todos los stakeholders que ayudará para la planificación y financiación de las inversiones

Oportunidad de creación de empleo de calidad y en zonas rurales al disponer localmente de las capacidades de diseño, construcción, fabricación y explotación

Conclusiones : Riesgos

A nivel mundial se ponen en servicio unos 2 GW al año pero es previsible que en la próxima década se alcancen los 10 GW/año

Gran incertidumbre sobre la rentabilidad de las inversiones futuras

- ✓ Desempeñarán un papel distinto en un sistema eléctrico “renovable”
- ✓ Ingresos dependientes de la regulación futura , tanto del tipo de servicios a prestar al sistema eléctrico como de su remuneración (regulada o mercado)
- ✓ Incremento previsible del coste de la turbina-bomba ante el incremento de demanda, la concentración de los suministradores y el sobrecoste de la velocidad variable.

El proceso de aprobación administrativa de las nuevas inversiones y el desarrollo de la nueva regulación del mercado eléctrico se configuran como los mayores riesgos

Se debe acompañar el almacenamiento adicional de energía con el crecimiento de la eólica y fotovoltaica, para no comprometer su rentabilidad como consecuencia de los vertidos de electricidad a que se podrían ver abocadas

Almacenamiento hidráulico: centrales reversibles.

Gracias.