



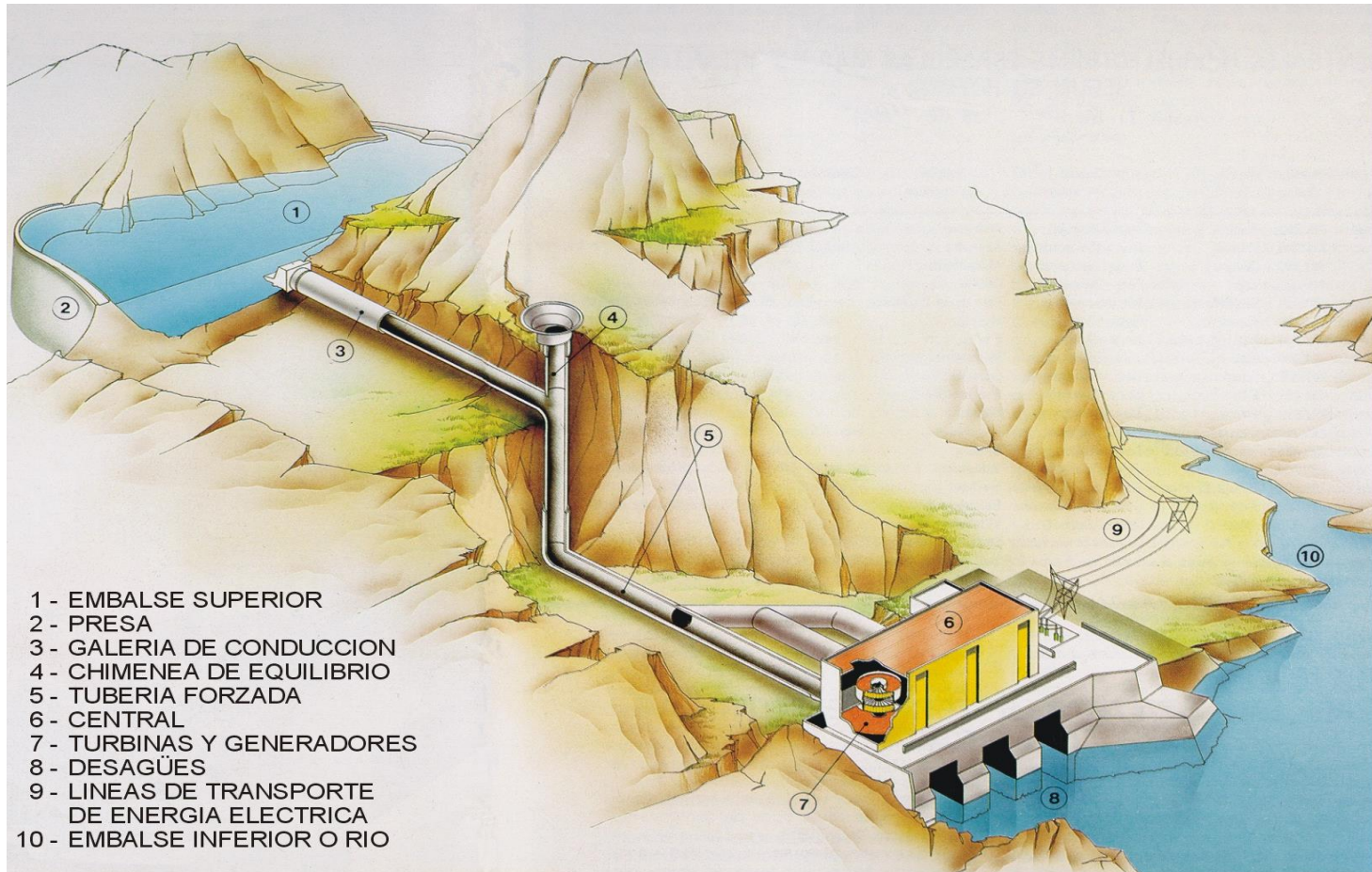
GRUPO ARAGONÉS

Ciclo de conferencias sobre Almacenamiento de Energía Almacenamiento Eléctrico con Bombeo Hidráulico

Nuevas centrales de bombeo en España

Baldomero Navalón
29 Abril 2021

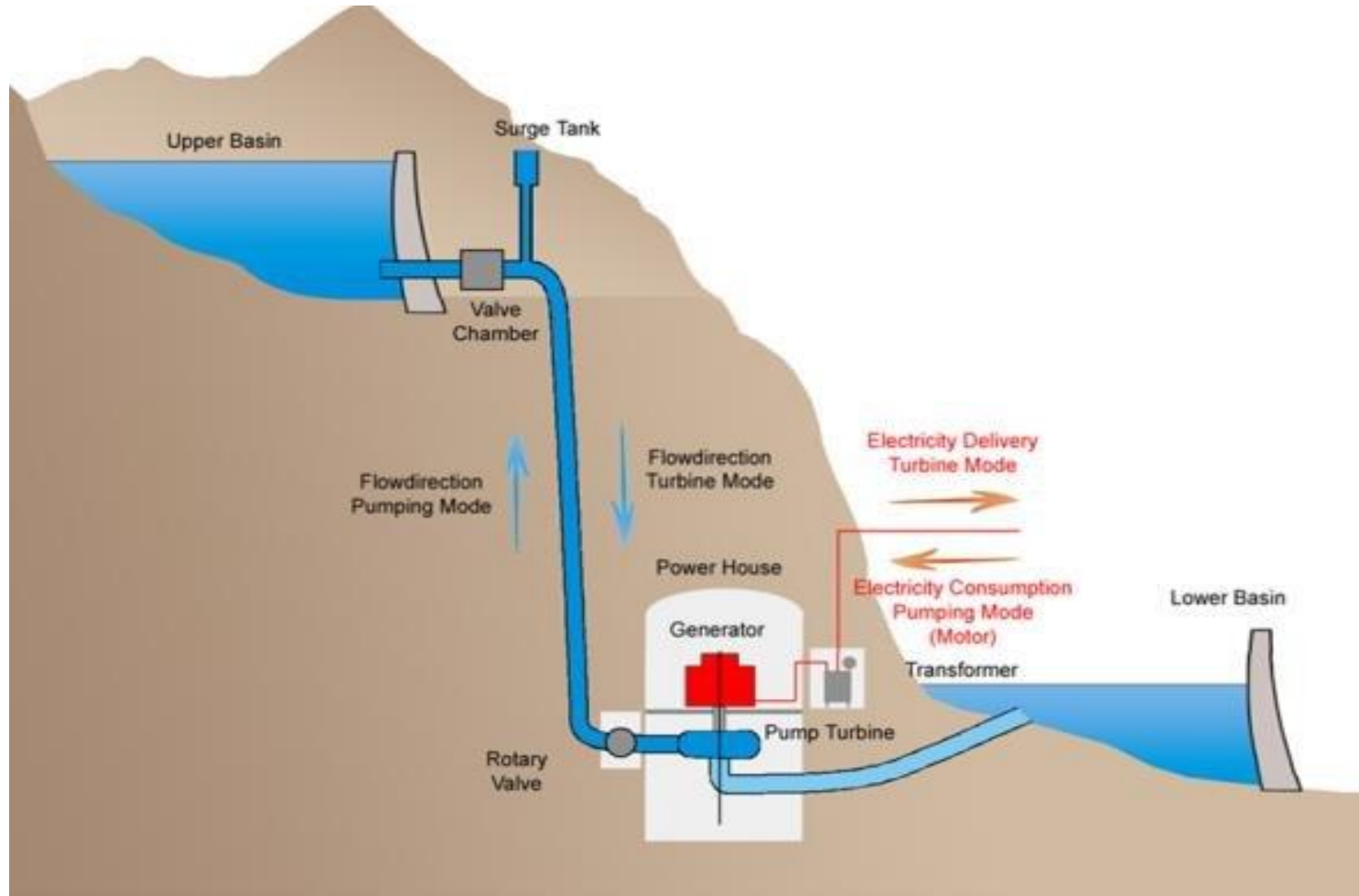
CENTRAL REVERSIBLE de pie de presa



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



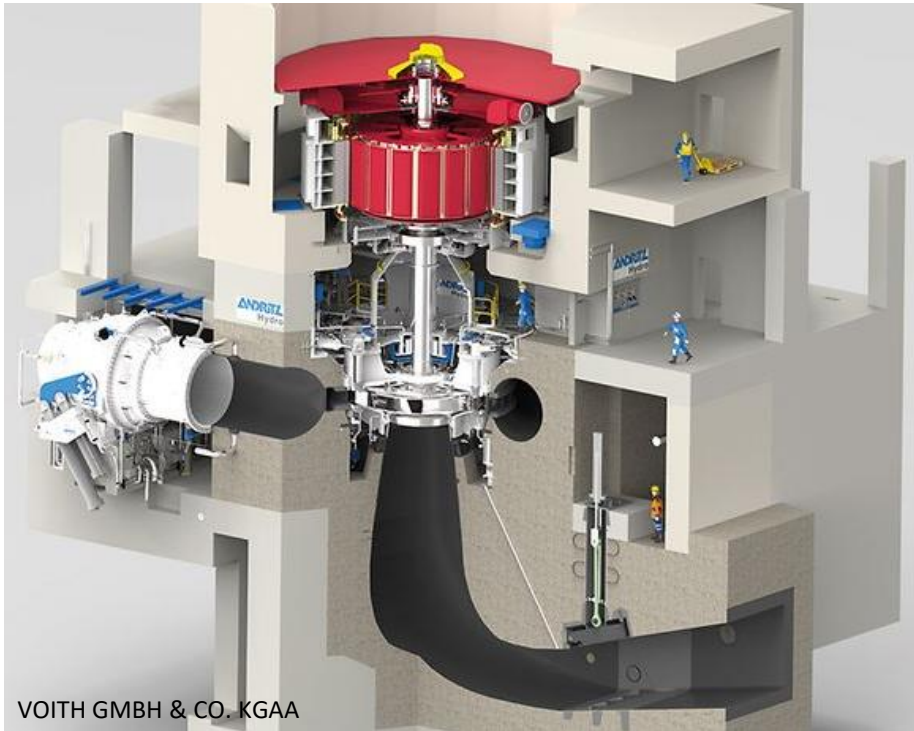
Guandgon (China) 2.400 MW

Tipología según el tipo de maquinaria

- Según el nº de elementos acoplados en el eje:

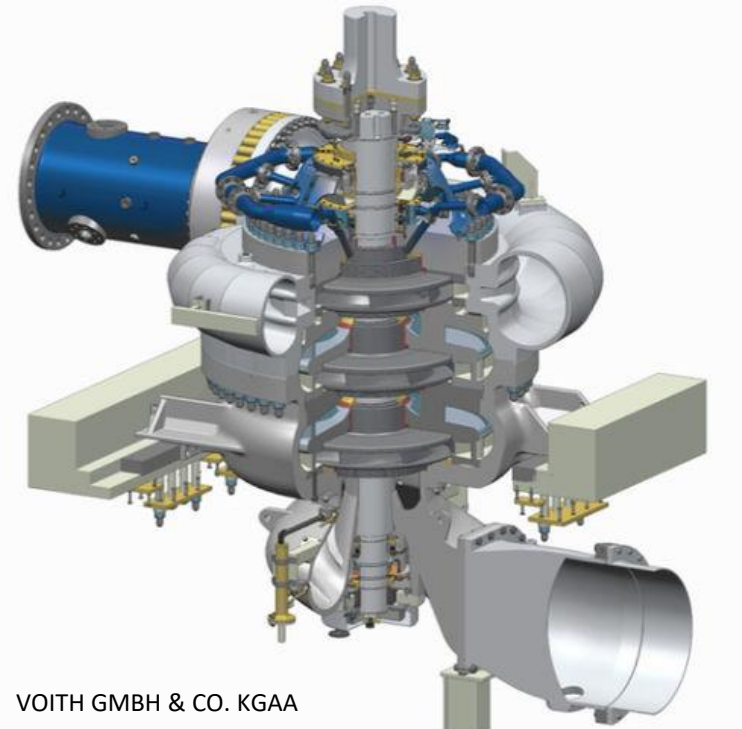
BINARIA

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)

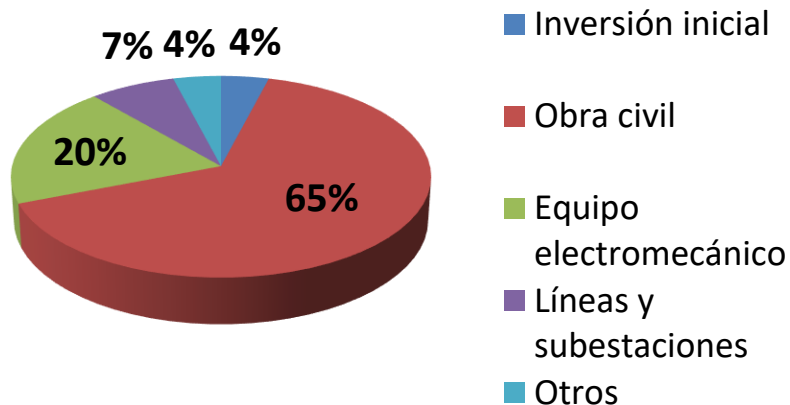
Velocidad variable (potencia en bombeo regulable de 0 a 100%)

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

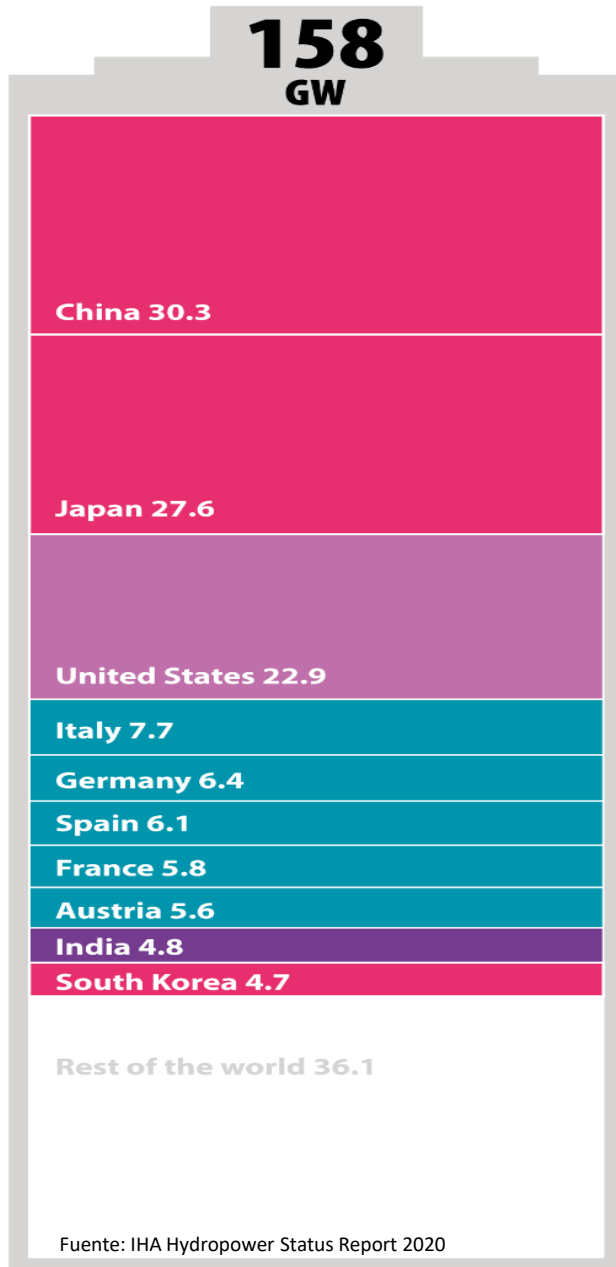
PNIEC y el almacenamiento de energía

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

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

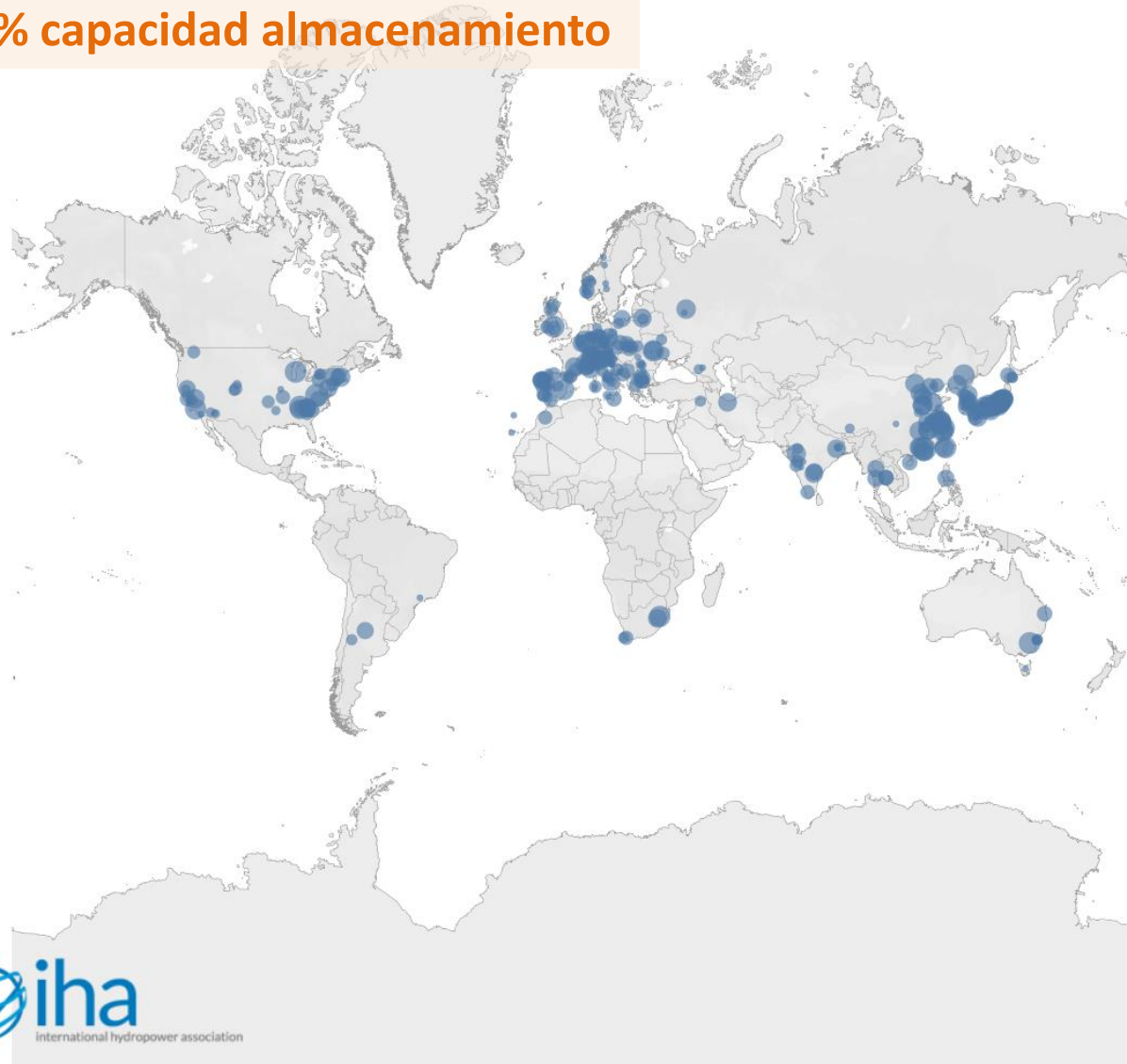
Potencia mundial instalada en 2019 : 0,34 GW (*)

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

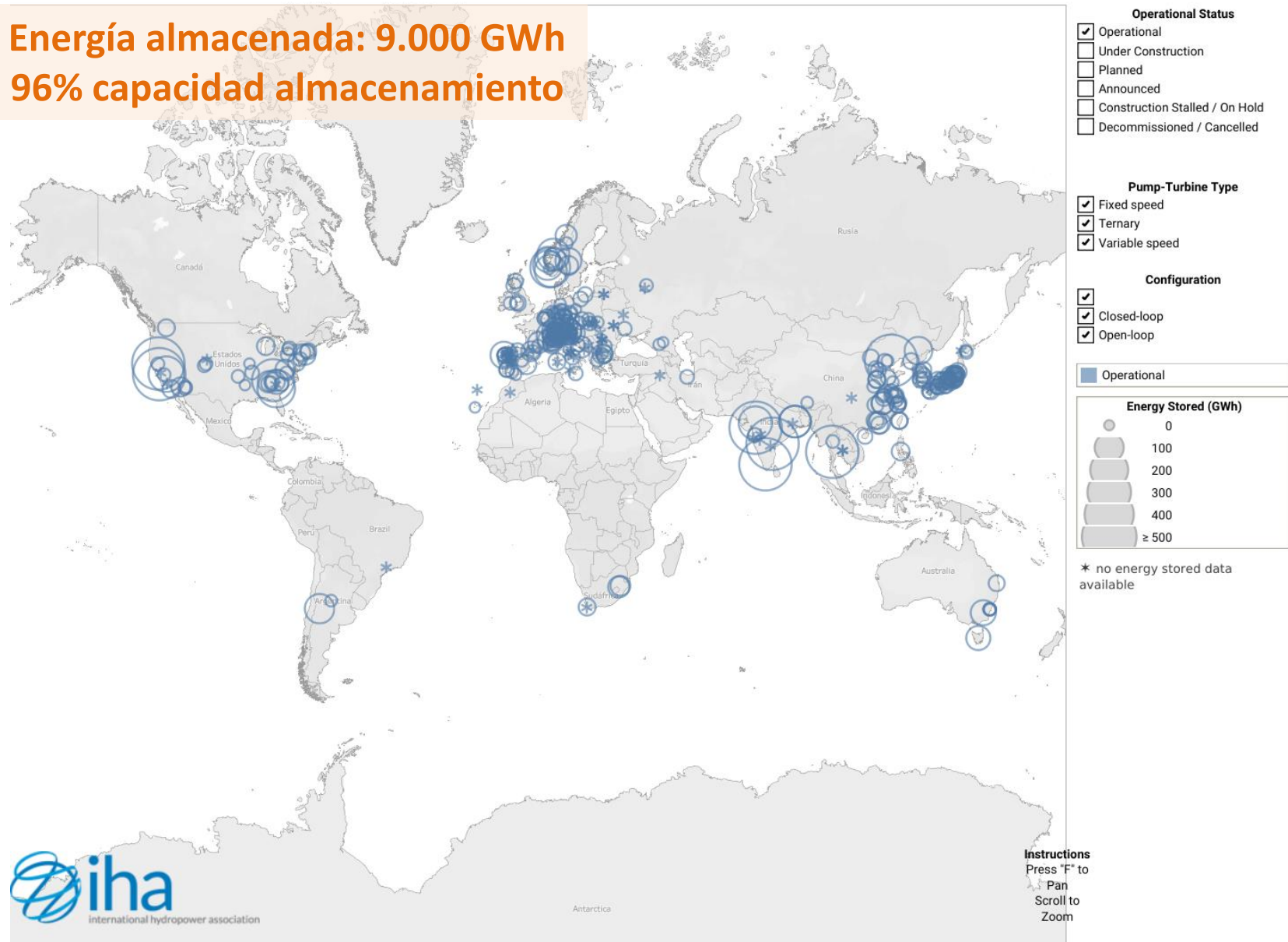
- Configuration**
- Closed-loop
 - Open-loop

Operational

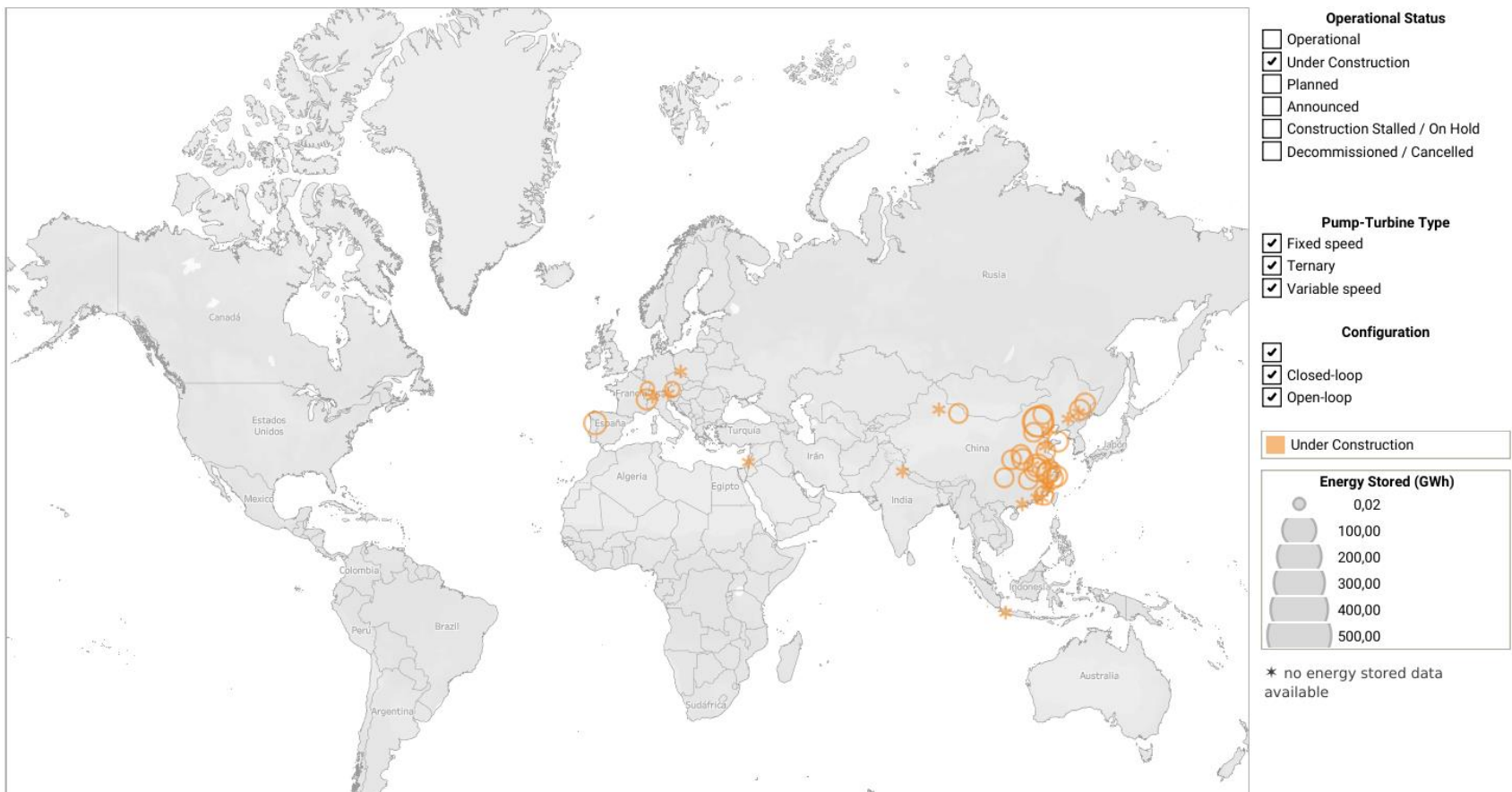
- Installed capacity (MW)**
- ≤ 50
 - 500
 - 1,000
 - 1,500
 - ≥ 2,000

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

Energía almacenada: 9.000 GWh
96% capacidad almacenamiento

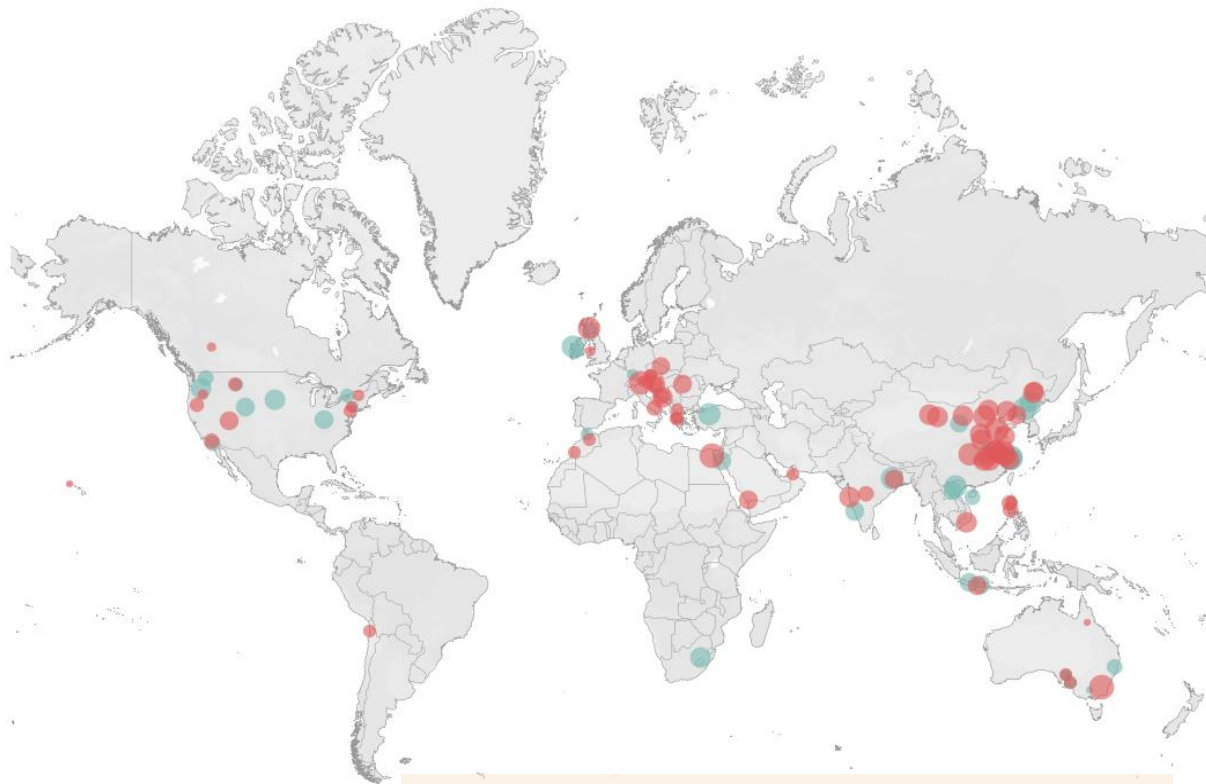


Almacenamiento por bombeo en construcción (Octubre 2020)



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

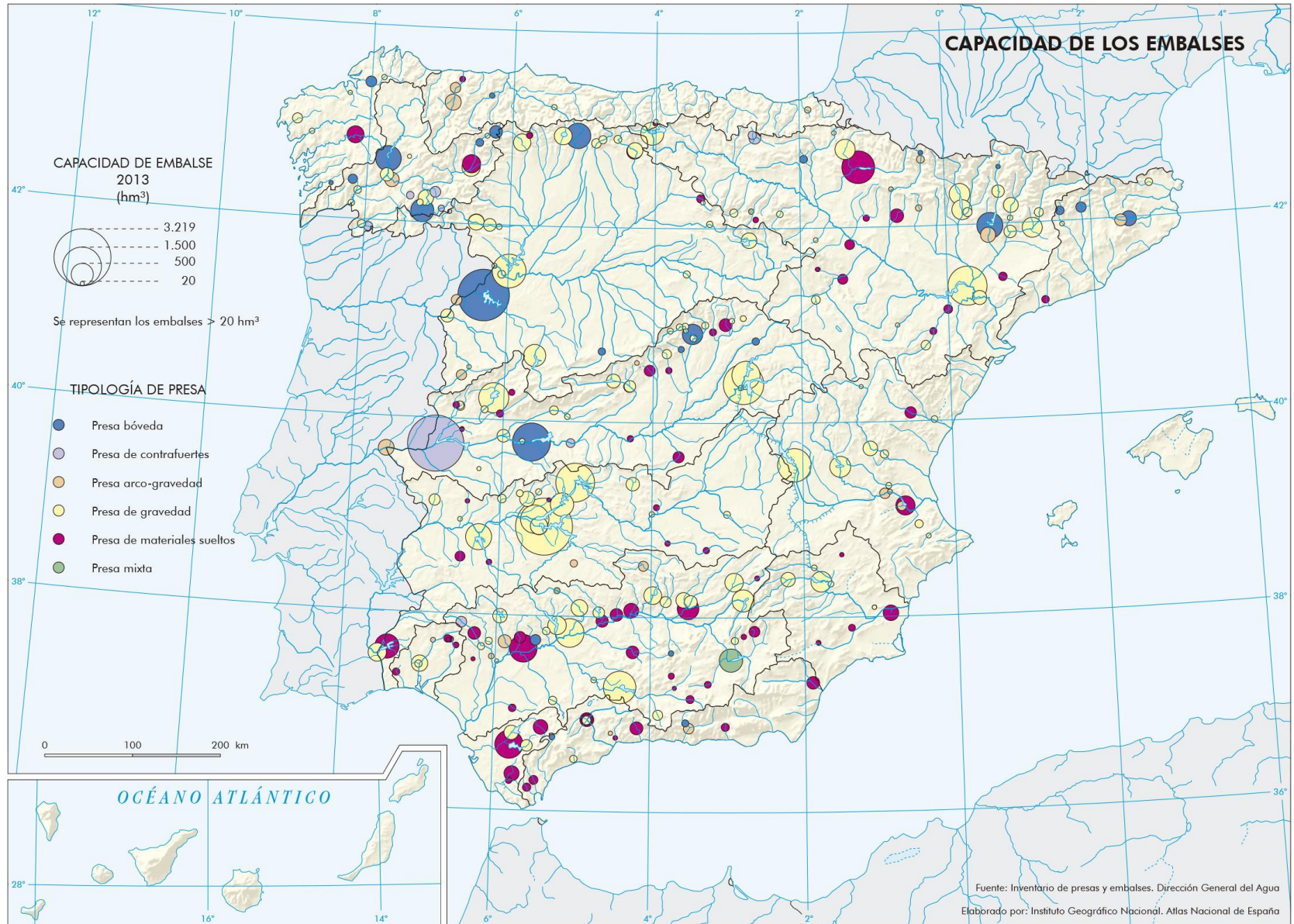
- Planned
- Announced

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

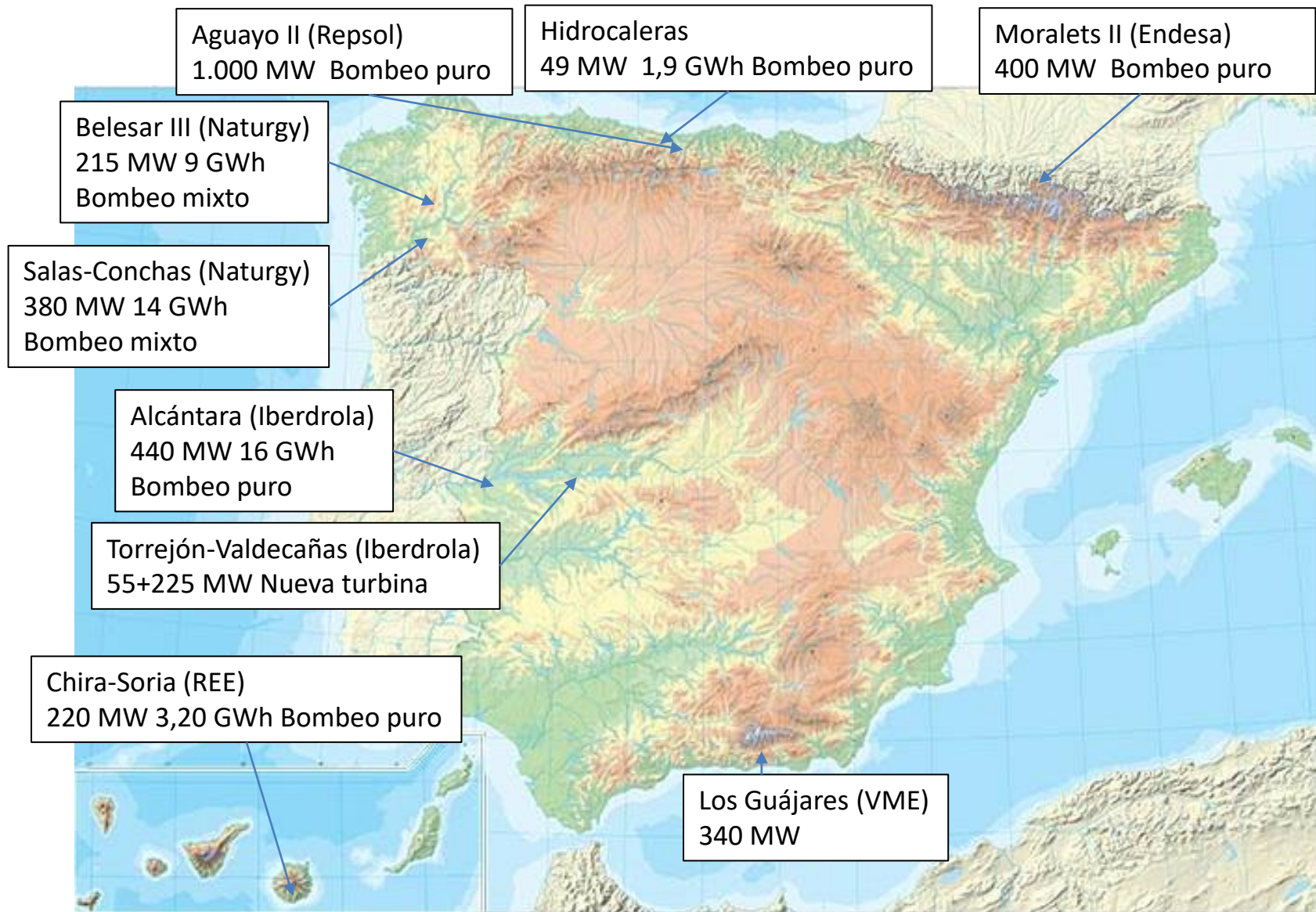
**Existen proyectos técnicamente viables
en España?**



Embalses mayores de 20 Hm³ en España



Bombes aprovechando infraestructuras hidráulicas existentes



Bombes “off-shore” o de costa con agua de mar

- ❑ Las centrales de bombeo de agua de mar entre el mar y la costa son ya una realidad en países como Japón si bien se puede considerar que todavía es una tecnología en el ámbito de la innovación ya que se sigue estudiando como mitigar el efecto a largo plazo del agua salada en los componentes.
- ❑ Las principales ventajas que ofrecerían son :
 - ✓ No existe limitación de recurso agua al utilizar agua de mar.
 - ✓ No compiten por el agua con otros usos.
 - ✓ No es necesaria la construcción de presas en los cursos naturales.
 - ✓ Limitado impacto medioambiental; en algún caso se podría recuperar alguna zona degradada para ubicar el depósito o balsa de almacenamiento superior (Ej.Hidrocaleras)
- ❑ En un país como España con gran longitud de costa sería posible encontrar zonas con desnivel entre el mar y la zona costera que permitieran ubicar almacenamientos de bombeo.
- ❑ Las acciones inmediatas a desarrollar podrían ser:
 - ✓ Elaborar un **inventario** de emplazamientos con potencial de almacenamiento por bombeo.
 - ✓ Desarrollar mecanismos de apoyo a la innovación (I+D+i) para la investigación del comportamiento de materiales en agua salada.

Bombeo aprovechando infraestructuras hidráulicas de carácter público

- ❑ El aprovechamiento de las **presas y embalses del Estado** presenta las siguientes ventajas :
 - Pone en valor infraestructuras hidráulicas ya construidas, de titularidad pública.
 - Menor impacto ambiental de los nuevos bombeos.
 - Impacto positivo sobre concesionarios de otros usos del agua (regantes y abastecimientos) al ser un uso no consuntivo sobre el que repercutir los costes de explotación y amortización de las obras del Estado.
 - Permite su desarrollo por nuevos actores de capital privado sin afectar a derechos preexistentes de empresas eléctricas (concesiones).
 - Punto de conexión y línea de transmisión/evacuación de energía existente en la cercanía para alimentar los servicios de las presas o estaciones de bombeo para riego y abastecimiento.
 - Ingresos para el Estado ya sea mediante cánones de regulación y subastas de emplazamientos energéticos (pagos up-front o diferidos).
 - Permite modular la potencia a subastar y su localización geográfica según los requerimientos del Operador del Sistema Eléctrico.

- ❑ Se podría elaborar un *“Plan nacional de embalses de titularidad pública con elevado potencial de almacenamiento por bombeo”* , priorizados a través de criterios de tipo ambiental, económicos y sociales. (Ej. PNBEPH de Portugal).

- ❑ Se propone realizar un estudio de viabilidad técnico-económica de aprovechamientos hidroeléctricos de bombeo para almacenamiento de energía utilizando los embalses del Estado, que se podría desarrollar por fases comenzando por aquellos Organismos de Cuenca responsables de los embalses que a priori presentan mayor potencial.

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€

Aprobada la 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 al disponer localmente de las capacidades de diseño, construcción, fabricación y explotación, y de desarrollo de zonas rurales

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

Gracias.