



ISLEPACT



# Planificación Energética Sostenible en Islas

Roque Calero Pérez  
Doctor Ingeniero Industrial

Fuerteventura, Marzo 2012



INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE



La Sostenibilidad Energética en Islas significa:

Máximo uso de las energías renovables disponibles  
(mínimo uso de energías fósiles importadas)  
a costes asumibles.

Contemplar la planificación energética dentro del marco  
de un Plan de Desarrollo Sostenible Integral Insular.



## Del lado de la demanda

- Ahorro energético
- Mejora de la eficiencia de los sistemas de consumo
- Almacenamiento energético a pequeña escala

## Del lado de la oferta

- Maximización de la penetración de las energías renovables a pequeña escala (solar fotovoltaica, minieólica, minihidráulica, solar térmica). *Generación distribuida*
- Maximización de la penetración de las energías renovables a gran escala (solar fotovoltaica, solar termoeléctrica, eólica, hidráulica, oleaje, mareas, biomasa y RSU, geotérmica, térmica marina). *Generación concentrada*
- Almacenamiento de energías renovables (a pequeña y gran escala) (\*)
- Mejora de la eficiencia de los sistemas de generación térmicos
- Flexibilidad de los equipos de generación térmicos (\*)

## De ambos lados

- Gestión de la demanda y de la oferta



## A pequeña escala

- Acumuladores de frío y calor
- Baterías fijas y móviles (las de automóviles eléctricos)
- Agua en altura (bombeo de pozos y pequeños saltos)
- Agua desalada a pequeña escala
- Volantes de inercia
- Aire comprimido a pequeña escala
- Otros

## A gran escala

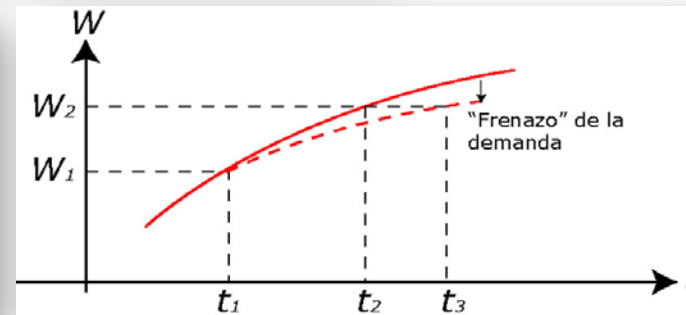
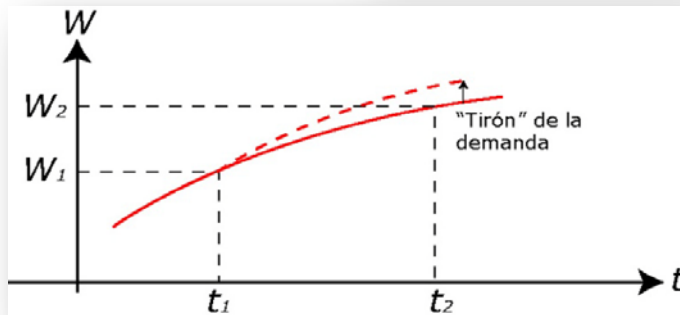
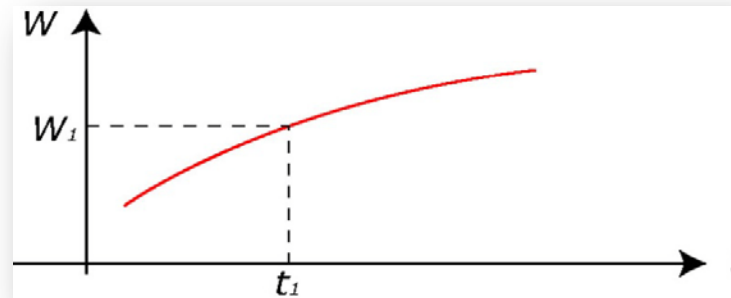
- Agua en altura
- Agua desalada a gran escala
- Estaciones de carga de baterías intercambiables para flotas de vehículos eléctricos
- Baterías de flujo
- Producción de hidrógeno a gran escala
- Aire comprimido a gran escala



Flexibilidad ante ajustes instantáneos producción – demanda

Flexibilidad ante el ajuste a demandas cambiantes a medio y largo plazo

Dados los importantes volúmenes de inversión que entran en juego cuando se pretende instalar una nueva planta de generación eléctrica (o la ampliación de una existente), la capacidad de la misma puede actuar como una invitación al consumo, o un impulso al ahorro, dependiendo del año horizonte que se pretende cubrir con la misma.





## La solución técnica (definición técnica incluyendo su estabilidad eléctrica)



En muchos casos se podrían incrementar las energías renovables y los sistemas de almacenamiento hasta conseguir la desaparición de las energías fósiles (solución radical)

## La solución económica

En la mayoría de los casos la solución técnica radical es económicamente inviable



3iDS ha desarrollado un software de optimización de sistemas eléctricos en islas denominado DOSEI (Diseño Optimizado de Sistemas Eléctricos Insulares)

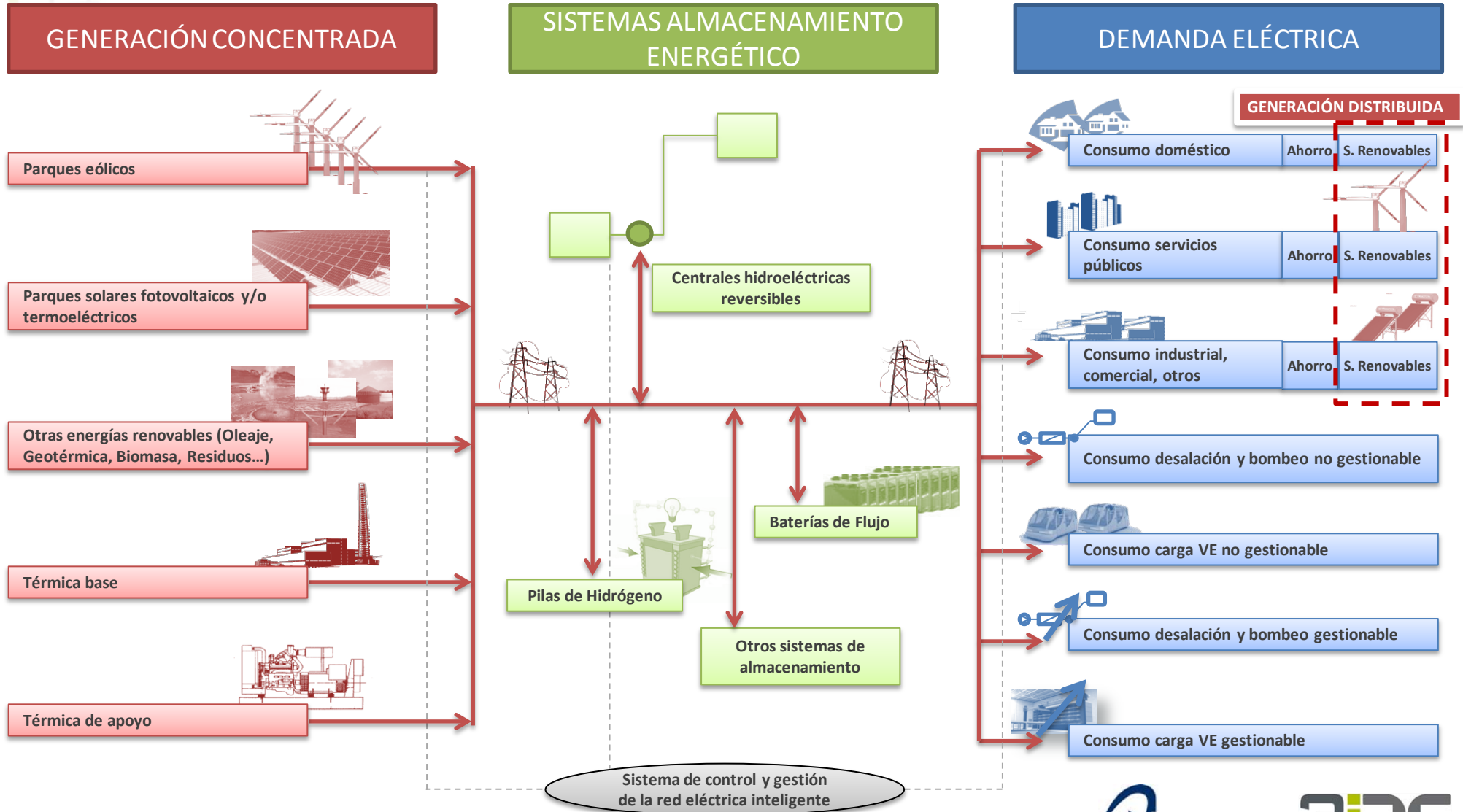
El **DOSEI** permite colocar varios parques eólicos, solares u otros en diferentes puntos territoriales y con diferentes tipologías así como varias centrales hidroeléctricas reversibles, varias plantas desaladoras y varias estaciones de carga de baterías con diferentes tipologías

Este programa comprende como novedad dos subrutinas:

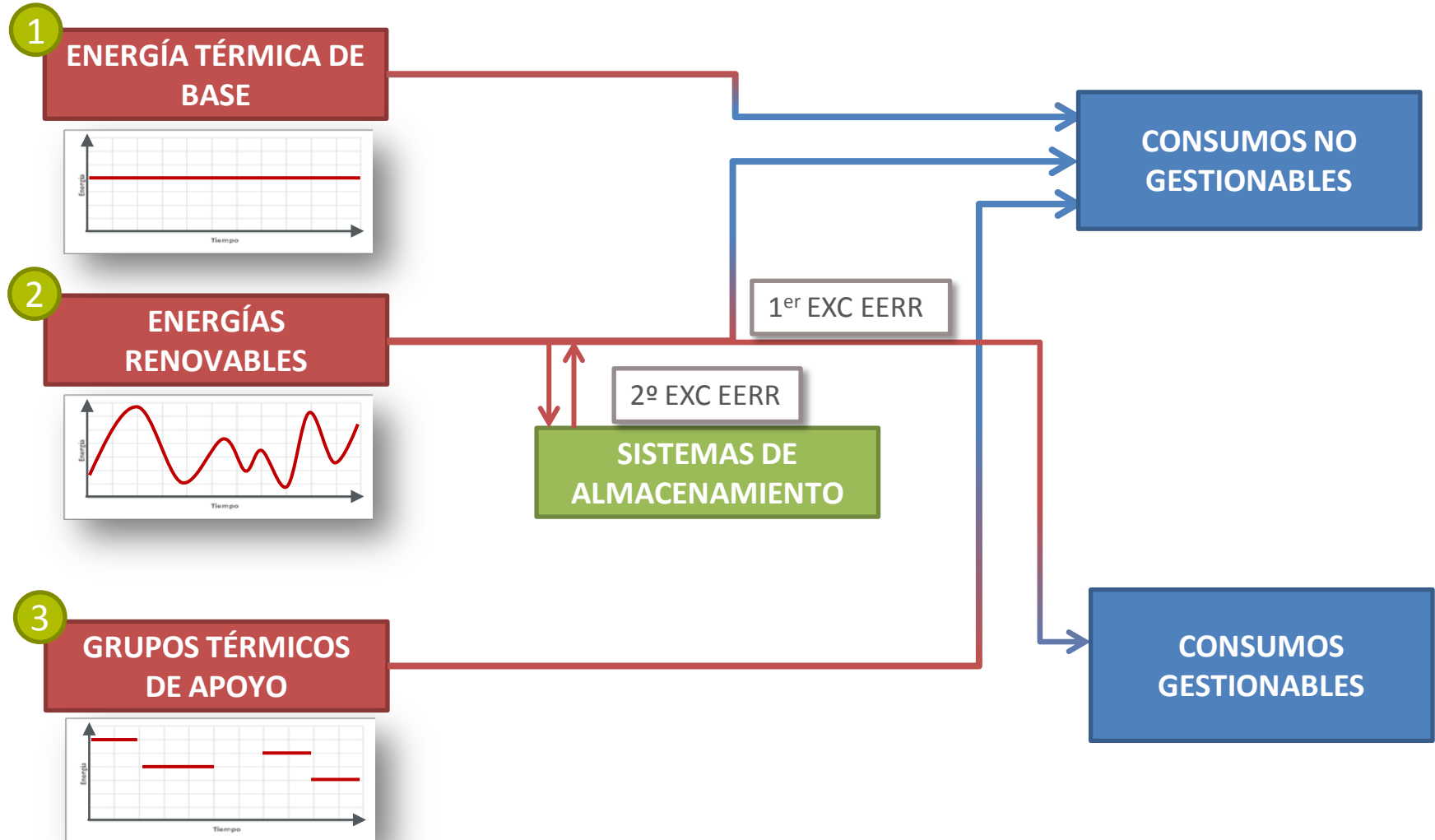
- Optimización de centrales hidroeléctricas reversibles
- Plantas desaladoras moduladas con depósitos de acumulación



# MODELIZACIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO









## DATOS TÉCNICOS A ANALIZAR

Definición de las demandas no gestionables y gestionables en cada isla

Valoración previa de la generación distribuida a través de renovables

Valoración previa de los resultados de las políticas de eficiencia y ahorro energético a implantar en cada isla

Recopilación y análisis de los recursos eólico, solar y otras renovables. Definición de las potencias a implantar y las ubicaciones territoriales en cada isla

Definición de las curvas de demanda no gestionables sectorizadas y globales resultantes en cada isla y su evolución futura

Definición de las demandas gestionables y su evolución en cada isla

Definición de los sistemas de almacenamiento susceptibles de ser instalados

## RESULTADOS TÉCNICOS GLOBALES

Potencia instalada necesaria de Centrales Térmicas (De base y de apoyo) (MW)

Potencia instalada necesaria de Parques Eólicos, solares y otras energías renovables (MW)

Porcentaje de penetración de Renovables (%)

Capacidad de los sistemas de almacenamiento de energía (agua en altura, baterías, ...)

Capacidad de las plantas desaladoras modulares

Capacidad de la central hidroeléctrica reversible (bombas, turbinas, embalses, conducciones, ...)



## DATOS ECONÓMICOS A ANALIZAR

|  | INVERSIÓN  | INGRESOS | COSTES | AMORTIZACIÓN |
|--|--|----------|--------|--------------|
| INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO ENERGÉTICO | Ciclo Combinado (Térmica base)                         |          |        |              |
|  | Grupos Diesel (Térmica de apoyo)                       |          |        |              |
|  | Parques eólicos  |          |        |              |
|  | Parques solares fotovoltaicos                          |          |        |              |
|  | Recursos renovables a pequeña escala                   |          |        |              |
|  | Redes de transporte y distribución                     |          |        |              |
|  | Subestaciones y Centros de transformación              |          |        |              |
|  | Terrenos y acondicionamiento                           |          |        |              |
|  | Estaciones de carga de VE                              |          |        |              |
|  | Baterías de flujo                                      |          |        |              |
| INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO HIDRÁULICO | Plantas desaladoras y grupos de impulsión              |          |        |              |
|  | Embalses-Balsas-Presas-Depósitos (nuevas y existentes) |          |        |              |
|  | Estaciones de Bombeo y Turbinado                       |          |        |              |
|  | Tuberías forzadas (diámetro óptimo al mínimo coste)    |          |        |              |
|  | Terrenos y acondicionamiento                           |          |        |              |

## RESULTADOS ECONÓMICOS GLOBALES

|  |
|--|
| Coste de producción de energía eléctrica (c€/kWh) - Cálculo del LCOE |
| Ahorro de Combustible Generado (Tn/año) y Coste asociado (€/año)     |
| Reducción de emisiones de CO2 (Tn/año)                               |
| Coste de producción de agua desalada (€/m3)                          |



## RESULTADOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA TÉCNICO Y ECONÓMICAMENTE OPTIMIZADO

### RESULTADOS TÉCNICOS (PARA CADA HORA O PERIODO SUPERIOR)

|   |
|---|
| Número de aerogeneradores conectados                          |
| Número de plantas fotovoltaicas conectadas                    |
| Número de otros sistemas renovables conectados                |
| Número de generadores térmicos conectados                     |
| Número de bombas de impulsión en funcionamiento (en las CHR)  |
| Número de turbinas hidráulicas en funcionamiento (en las CHR) |
| Volumen de agua en los depósitos/balsas (superior e inferior) |
| Número de módulos de desalación en funcionamiento             |
| Número de unidades de carga de baterías en carga (y cargadas) |

### RESULTADOS ECONÓMICOS

|  |
|--|
| Coste de producción de energía eléctrica (c€/kWh) - Cálculo del LCOE |
| Ahorro de Combustible Generado (Tn/año) y coste asociado (€/año)     |
| Reducción de emisiones de CO2 (Tn/año)                               |
| Coste de producción de agua desalada óptimo (€/m3)                   |

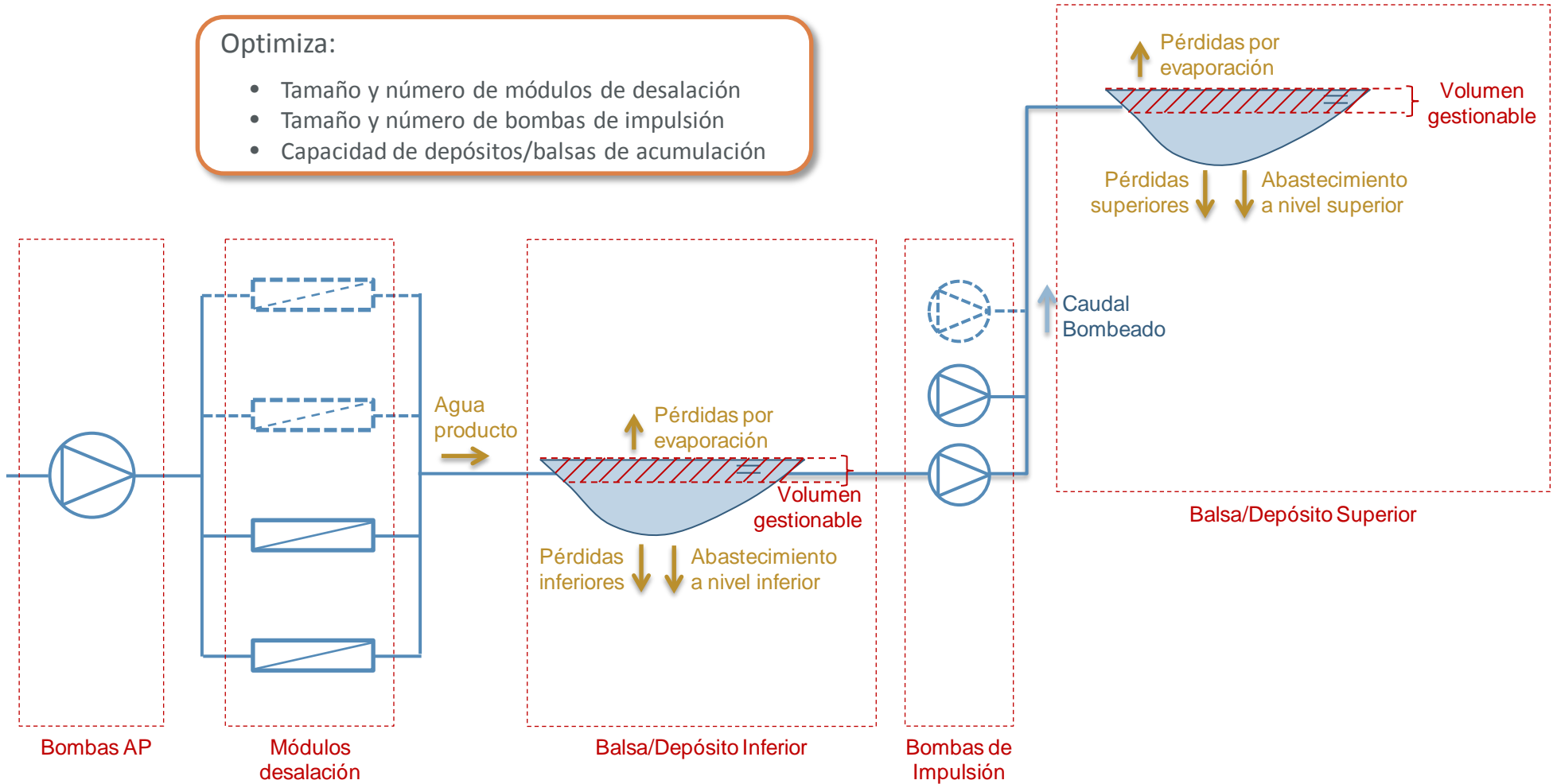
### RESULTADOS DE SENSIBILIDAD

|  |
|--|
| Coste de energía eléctrica en cada isla por incremento del precio del combustible  |
| Coste de energía eléctrica en cada isla por variación del porcentaje de penetración de las fuentes de energías renovables                                  |
| Coste de energía eléctrica en cada isla por variación del dimensionamiento de las centrales hidroeléctricas reversibles u otros sistemas de almacenamiento |
| Coste de energía eléctrica en cada isla en función de la financiación obtenida   |



Optimiza:

- Tamaño y número de módulos de desalación
- Tamaño y número de bombas de impulsión
- Capacidad de depósitos/balsas de acumulación



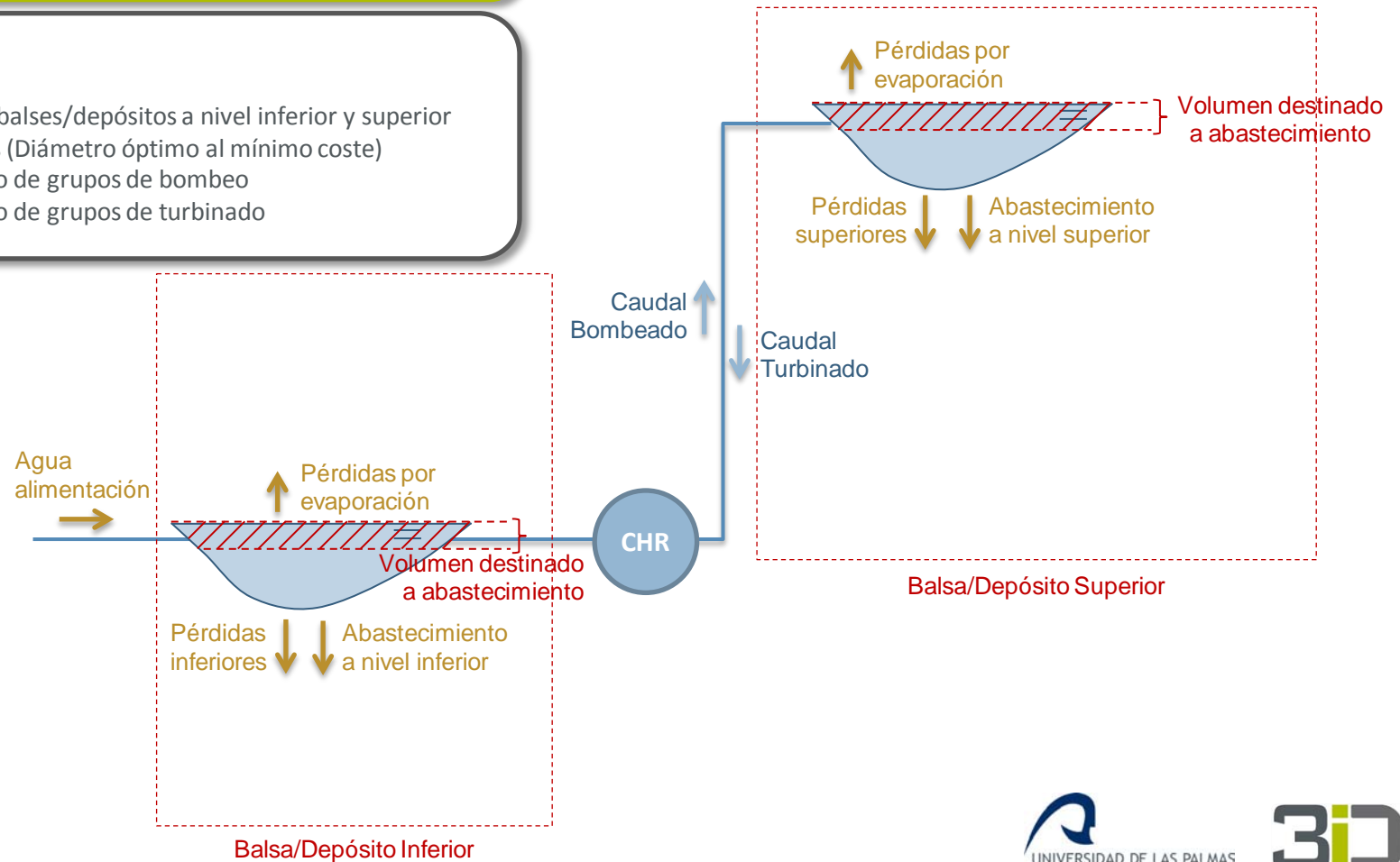


## Tipos de centrales analizables:

- Central Hidroeléctrica Reversible tradicional (sólo turbinado)
- Central Hidroeléctrica Reversible sin consumo asociado
- Central Hidroeléctrica Reversible con consumo asociado

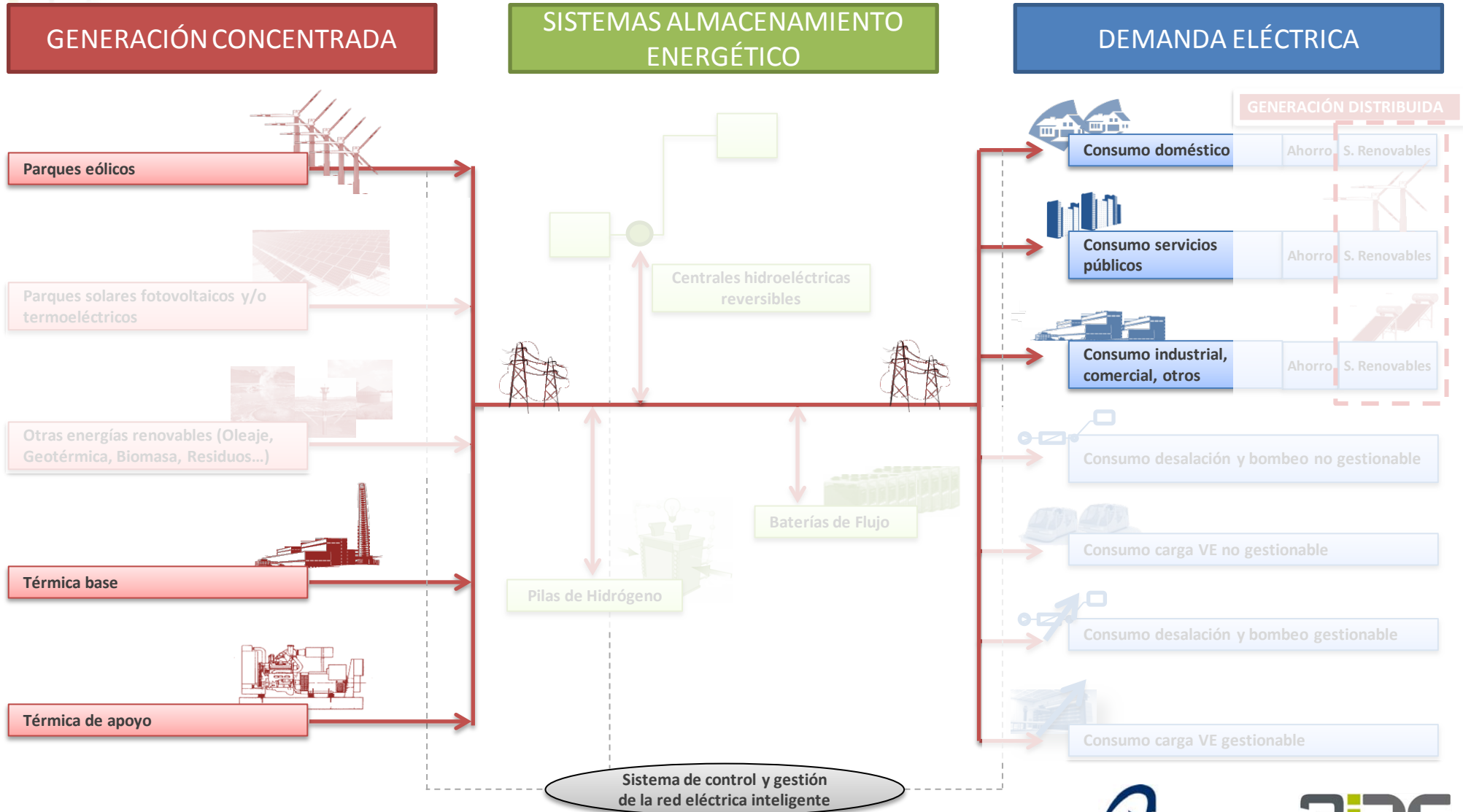
## Optimiza:

- Capacidad de embalses/depósitos a nivel inferior y superior
- Tuberías forzadas (Diámetro óptimo al mínimo coste)
- Tamaño y número de grupos de bombeo
- Tamaño y número de grupos de turbinado





# CASO PRÁCTICO: SISTEMA ELÉCTRICO DE GRAN CANARIA

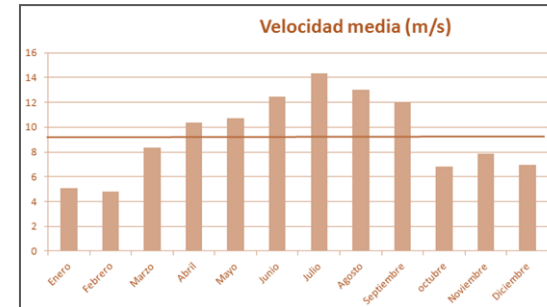




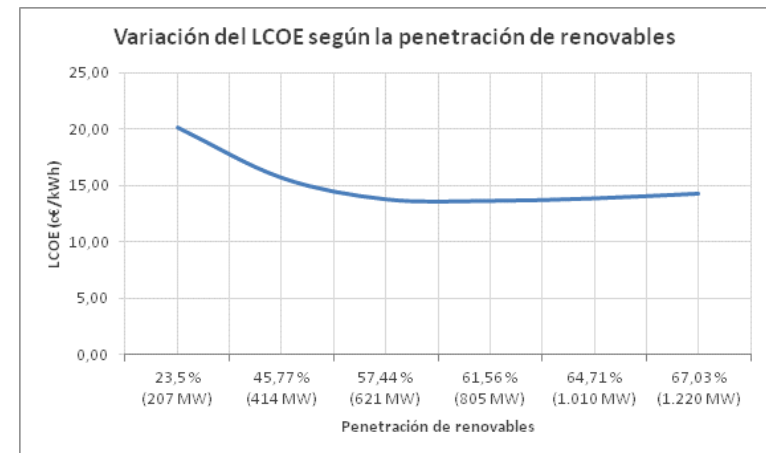
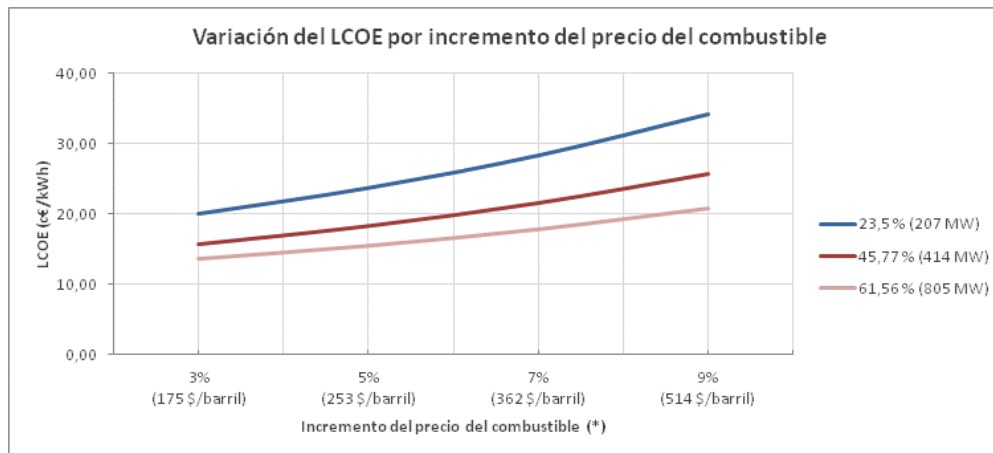
## Datos de partida

- Análisis temporal: 20 años
- Rango de potencia eólica instalada: 200 – 1.200 MW
- Potencia Térmica Instalada: 650 MW
- Potencia aerogenerador: 2,3 MW
- Potencia grupo diesel: 50 MW
- Consumo eléctrico: 3.400 GWh/año

## Análisis de viento



## Resultados

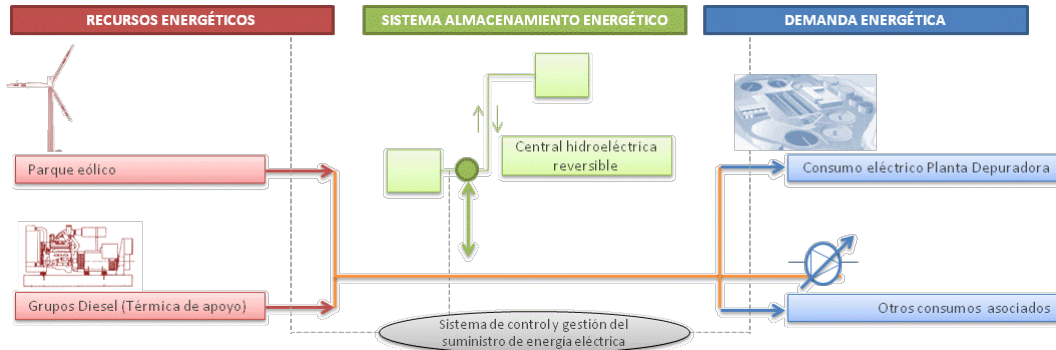


(\*) Precio del combustible dentro de 20 años, teniendo en cuenta el incremento anual indicado, considerando un precio actual del barril de petróleo de 100 \$.





## Optimización para funcionamiento de la EDAR en régimen aislado



### Datos de partida

- Potencia instalada EDAR: 450 kW
- 365 días de funcionamiento en régimen continuo
- Consumo eléctrico: 3.942.000 kWh/año
- Caudal agua tratada: 605 m<sup>3</sup>/h
- Potencia instalada AG: 2,3 MW
- Potencia instalada GD: 580 kW

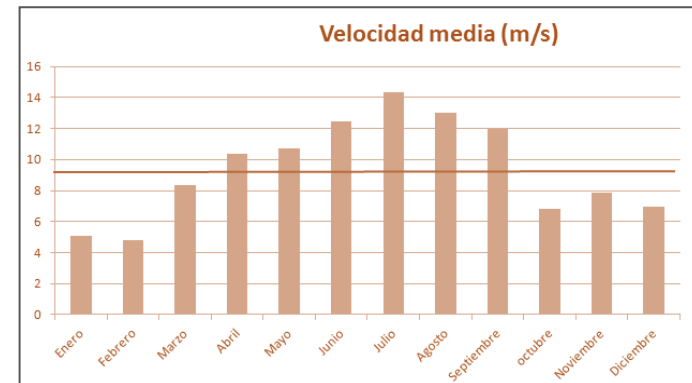
### Análisis de trazado de tubería forzada y emplazamiento de balsa en altura



#### Trazados analizados

- TR 1 Montaña Cabezo
- TR 2 Montaña Las Carboneras
- TR 3 Barranco de Corralillos
- TR 4 Llano Las Monjas
- TR 5 Milano

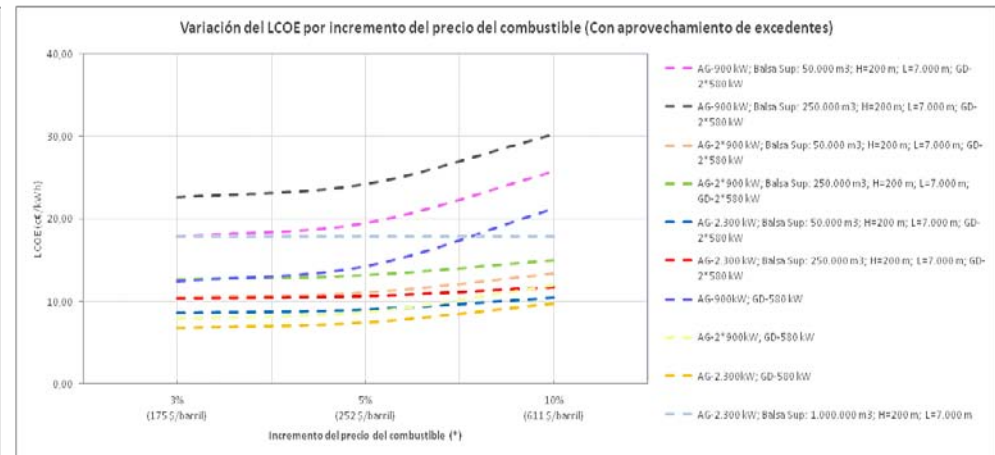
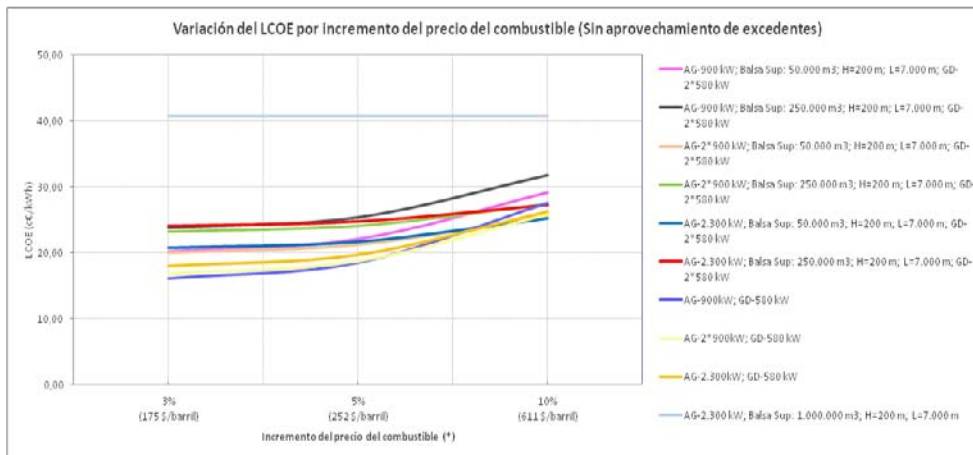
### Análisis de viento





## Alternativas

|                                       | Coste mínimo de energía eléctrica (LCOE) | Coste mínimo de energía eléctrica (LCOE), con aprovechamiento excedentes de EERR |
|---------------------------------------|--|--|
| 1. Aerogenerador + Grupo diesel + CHR | 20,00 c€/kWh                             | 10,50 c€/kWh   |
| 2. Aerogenerador + Grupo diesel       | 16,80 c€/kWh                             | 7,90 c€/kWh  |
| 3. Aerogenerador + CHR                | 40,70 c€/kWh                             | 17,90 c€/kWh   |



(\*) Precio del combustible dentro de 20 años, teniendo en cuenta el incremento anual indicado, considerando un precio actual del barril de petróleo de 100 \$.

## Conclusiones

1. La CHR representa más del 50% de la inversión total, influyendo considerablemente en el LCOE.
2. El aprovechamiento de los excedentes energéticos de las renovables, disminuiría considerablemente el LCOE, alcanzando precios competitivos.
3. El aprovechamiento de infraestructuras existentes para la CHR (balsas, tuberías, grupos de bombeo...), disminuiría considerablemente el LCOE.
4. El empleo de la CHR comienza a ser viable cuando el precio del combustible sufre un incremento considerable.



En este momento se está trabajando en la subrutina de optimización de las estaciones de carga de vehículos eléctricos para incorporarlo al **DOSEI**

El **DOSEI** no incluye el análisis de la estabilidad eléctrica de la red resultante

La aplicación óptima del **DOSEI** se beneficiaría de un estudio de la generación distribuida y de la implantación de sistemas de ahorro de energía