PRÁCTICA Planificación de la Generación de Energía Eléctrica-Soluciones

DATOS DEL PROBLEMA

A continuación, se dan datos de un hipotético sistema simplificado de nodo único y se pide el desarrollo y resolución de modelos que incluirán algunos de estos elementos.

- Índices:
  - t Grupos térmicos
  - h Horas de la planificación
  - *s,ss* Escenarios de demanda
- Datos:
  - $\overline{p}_t$ Potencia máxima de cada térmico [MW]
  - $\underline{p}_t$ Potencia mínima de cada térmico [MW]
  - rs_t Rampa de subida [Mw por hora]
  - rb_t Rampa de bajada [Mw por hora]
  - ca_t Coste de arranque [€]
  - cp_t Coste de parada [€]
  - Aproximación lineal del coste:
    - b_t Término lineal de producción (Coste unitario) [€/MWh]
    - a_t Término independiente [€]
  - Aproximación cuadrática del coste:
    - g_t Término independiente [€]
    - k_t Término lineal de producción [€/MWh]
    - v_t Término cuadrático [€/MWh^2]
  - d_h Demanda horaria (inelástica) [MW]
  - r Reserva rodante mínima: 20% de la demanda

Escenarios estocásticos de demanda

- *s,ss* índices de los escenarios
- d_{sh} : demanda según el escenario *s* en la hora *h* [Mw]
- m_{sh} : matriz del árbol de escenarios (no anticipatividad) que da para cada escenario *s* y hora *h* con qué escenario tienen que ser iguales el valor de las variables
- $prob_s$: probabilidad del escenario *s*
- $pr_{sh} = \sum_{ss/m_{ss\,h}=s} prob_{ss} \quad \forall s / m_{sh} = s$ probabilidad acumulada en cada nodo del árbol de escenarios definido por m_{sh}

MODELOS

- **En todos los modelos ha de satisfacerse la demanda horaria y respetar los mínimos y máximos técnicos de los grupos, así como las rampas de subida y de bajada.**

1. Modelo 1: Minimizar los costes de producción considerando éstos exclusivamente el término lineal (coste unitario) de la aproximación lineal. ¿Sabrías decir cuánto aumentaría en cada hora el coste si la demanda de cada hora fuera 1MW más sin resolver el modelo completo? Dar la programación horaria de los grupos, los que están acoplados cada hora y el marginal horario por 1Mw más en esa hora.

   Variables:
   - ✓ P_{th} : Potencia acoplada grupo térmico t en hora h (Mw)
   - ✓ A_{th} : Acoplamiento de grupo térmico t en hora h ({0,1})

   $$\min \quad \sum_{t,h} b_t P_{th}$$
   $$\sum_t P_{th} = d_h \quad \forall h$$
   $$\underline{p}_t A_{th} \le P_{th} \le \overline{p}_t A_{th} \quad \forall t,h$$
   $$P_{th} - P_{t\,h-1} \le rs_t \quad P_{t\,h-1} - P_{th} \le rb_t \quad \forall t,h$$
   $$P_{th} \ge 0, A_{th} \in \{0,1\} \quad \forall t,h$$

   Resultado: 16.600€
   Marginal horario (sacado de la variable dual/marginal de las restricciones de demanda): h1 3, h2 3, h3 5, h4 3. Ojo, si se resuelve con una unidad más, no da estos valores porque en la primera hora los dos grupos dando potencia no pueden subir (están en el máximo de su rampa).

2. Modelo 2: Asumiendo los costes de producción exclusivamente el término lineal de la aproximación lineal, pero el operador ha de comprar a un precio único unitario pagando a todos el máximo del coste unitario de los grupos que están generando esa hora, minimizar el pago por la energía. Dar la programación horaria de los grupos, los que están acoplados cada hora y el precio horario.

   Variables:
   - ✓ P_{th} : Potencia acoplada grupo térmico t en hora h (Mw)
   - ✓ A_{th} : Acoplamiento de grupo térmico t en hora h ({0,1})
   - ✓ C_h : Precio en la hora h (máximo de los costes unitarios de los grupos acoplados)

   $$\min \quad \sum_h d_h C_h$$
   $$\sum_t P_{th} = d_h \quad \forall h$$
   $$\underline{p}_t A_{th} \le P_{th} \le \overline{p}_t A_{th} \quad \forall t,h$$
   $$P_{th} - P_{t\,h-1} \le rs_t \quad P_{t\,h-1} - P_{th} \le rb_t \quad \forall t,h$$
   $$C_h \ge b_t A_{th} \quad \forall t,h$$
   $$P_{th} \ge 0, A_{th} \in \{0,1\} \quad \forall t,h$$

   Resultado: 22.800€
   Precios horarios: h1 3€/Mw, h2 3€/Mw, h3 4€/Mw, h4 4€/Mw

3. Modelo 3: Minimizar los costes de producción considerando la aproximación cuadrática e incluyendo costes de arranque y parada. Dar la programación horaria de los grupos, los que están acoplados cada hora y los que arrancan y paran cada hora.

Variables:

- ✓ P_{th} : Potencia acoplada grupo térmico t en hora h (Mw)
- ✓ A_{th} : Acoplamiento de grupo térmico t en hora h ({0,1})
- ✓ AR_{th} : Arranque del grupo térmico t en la hora h ({0,1})
- ✓ PR_{th} : Parada del grupo térmico t en la hora h ({0,1})

$$\min \quad \sum_{t,h} \left(v_t P_{th}^2 + k_t P_{th} + g_t A_{th} + ca_t AR_{th} + cp_t PR_{th} \right)$$

$$\sum_t P_{th} = d_h \quad \forall h$$

$$\underline{p}_t A_{th} \le P_{th} \le \overline{p}_t A_{th} \quad \forall t,h$$

$$A_{th} - A_{t\,h-1} = AR_{th} - PR_{th} \quad \forall t,h$$

$$P_{th} - P_{t\,h-1} \le rs_t \quad P_{t\,h-1} - P_{th} \le rb_t \quad \forall t,h$$

$$P_{th} \ge 0, A_{th}, AR_{th}, PR_{th} \in \{0,1\} \quad \forall t,h$$

Resultado: 16.597,73€ (resuelto con MIQCP)

4. Modelo 4: Minimizar los costes de producción considerando la aproximación lineal e incluyendo costes de arranque y parada, e incluir la restricción de cumplir con el mínimo de reserva rodante (para atender las variaciones en los desvíos). Dar la programación horaria de los grupos, los que están acoplados cada hora y los que arrancan y paran cada hora.

Variables:

- ✓ P_{th} : Potencia acoplada grupo térmico t en hora h (Mw)
- ✓ A_{th} : Acoplamiento de grupo térmico t en hora h ({0,1})
- ✓ AR_{th} : Arranque del grupo térmico t en la hora h ({0,1})
- ✓ PR_{th} : Parada del grupo térmico t en la hora h ({0,1})

$$\min \quad \sum_{t,h} \left(a_t P_{th} + b_t A_{th} + ca_t AR_{th} + cp_t PR_{th} \right)$$

$$\sum_t P_{th} = d_h \quad \forall h$$

$$\sum_t (\overline{p}_{th} A_{th} - P_{th}) \ge r \cdot d_h \quad \forall h$$

$$\underline{p}_t A_{th} \le P_{th} \le \overline{p}_t A_{th} \quad \forall t,h$$

$$A_{th} - A_{t\,h-1} = AR_{th} - PR_{th} \quad \forall t,h$$

$$P_{th} - P_{t\,h-1} \le rs_t \quad P_{t\,h-1} - P_{th} \le rb_t \quad \forall t,h$$

$$P_{th} \ge 0, A_{th}, AR_{th}, PR_{th} \in \{0,1\} \quad \forall t,h$$

Resultado: 17.420€

5. Modelo 5: Minimizar los costes de producción esperados considerando la aproximación lineal e incluyendo costes de arranque y parada, y la reserva rodante, si hay incertidumbre sobre la demanda de las horas futuras, de modo que:

   - En la primera hora y en la segunda hora la demanda es conocida (el dato dado)
   - En la tercera hora, puede ser un 20% más del dato dado con probabilidad 0,6 y un 30% menos del dato dado con probabilidad 0,4
   - En la cuarta hora, puede ser un 20% más del dato dado con probabilidad 0,6 y un 30% menos del dato dado con probabilidad 0,4

   Dar la programación que optimiza el coste esperado de la generación, el valor de la solución estocástica, el valor esperado con información perfecta y el de la información perfecta.

   Variables:

   - ✓ P_{ths} : Potencia acoplada grupo térmico t en hora h en escenario *s* (Mw)
   - ✓ A_{ths} : Acoplamiento de grupo térmico t en hora h en escenario *s* ({0,1})
   - ✓ AR_{ths} : Arranque del grupo térmico t en la hora h en escenario *s* ({0,1})
   - ✓ PR_{ths} : Parada del grupo térmico t en la hora h en escenario *s* ({0,1})

$$\min \sum_{t,h} \sum_{s/m_{sh}=s} pr_{sh} \left(a_t P_{ths} + b_t A_{ths} + ca_t AR_{ths} + cp_t PR_{ths} \right) =$$

$$= \sum_{t,h} \sum_{s} prob_s \sum_{ss/m_{sh}=ss} \left(a_t P_{thss} + b_t A_{thss} + ca_t AR_{thss} + cp_t PR_{thss} \right)$$

$$\sum_t P_{ths} = d_{sh} \quad \forall h, s / m_{sh} = s$$

$$\sum_t (\overline{p}_{th} A_{ths} - P_{ths}) \geq r \cdot d_{sh} \quad \forall h, s / m_{sh} = s$$

$$\underline{p}_t A_{ths} \leq P_{ths} \leq \overline{p}_t A_{ths} \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s$$

$$A_{ths} - A_{t\,h-1ss} = AR_{ths} - PR_{ths} \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s, \forall ss / m_{sh-1} = ss \ \text{ o } \ h = 1$$

$$P_{ths} - P_{t\,h-1ss} \leq rs_t \quad P_{t\,h-1ss} - P_{ths} \leq rb_t \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s, \forall ss / m_{sh-1} = ss \ \text{ o } \ h = 1$$

$$P_{ths} \geq 0, A_{ths}, AR_{ths}, PR_{ths} \in \{0,1\} \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s$$

   Resultado: 19.001,60€

   Para obtener arrepentimientos:

   - Información perfecta por escenario, resolver modelo 4 separadamente con la demanda de cada escenario:

     opt_s : s1 20.830€ s2 20.920€ s3 15.315€ s4 13.000€
   - Se puede añadir al modelo la variable AP_s arrepentimiento del escenario *s,* y la restricción

$$AP_s = \sum_{t,h} \sum_{ss/m_{sh}=ss} \left(a_t P_{thss} + b_t A_{thss} + ca_t AR_{thss} + cp_t PR_{thss} \right) - opt_s \quad \forall s$$

     AP_s : s1 1.600€ s2 15€ s3 365€ s4 370€

Opcional (subir nota): Dar la programación que minimiza el máximo arrepentimiento

Variables:

- ✓ P_{ths} : Potencia acoplada grupo térmico t en hora h en escenario *s* (Mw)
- ✓ A_{ths} : Acoplamiento de grupo térmico t en hora h en escenario *s* ({0,1})
- ✓ AR_{ths} : Arranque del grupo térmico t en la hora h en escenario *s* ({0,1})
- ✓ PR_{ths} : Parada del grupo térmico t en la hora h en escenario *s* ({0,1})
- ✓ MA : máximo arrepentimiento

$$
\begin{aligned}
&\min \quad MA \\
&\sum_t P_{ths} = d_{sh} \quad \forall h, s / m_{sh} = s \\
&\sum_t (\overline{p}_{th} A_{ths} - P_{ths}) \geq r \cdot d_{sh} \quad \forall h, s / m_{sh} = s \\
&\underline{p}_t A_{ths} \leq P_{ths} \leq \overline{p}_t A_{ths} \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s \\
&A_{ths} - A_{t\,h-1ss} = AR_{ths} - PR_{ths} \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s, \forall ss / m_{sh-1} = ss \text{ o } h = 1 \\
&P_{ths} - P_{t\,h-1ss} \leq rs_t \quad P_{t\,h-1ss} - P_{ths} \leq rb_t \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s, \forall ss / m_{sh-1} = ss \text{ o } h = 1 \\
&MA \geq \sum_{t,h} \sum_{ss/m_{sh}=ss} \left(a_t P_{thss} + b_t A_{thss} + ca_t AR_{thss} + cp_t PR_{thss} \right) - opt_s \quad \forall s \\
&P_{ths} \geq 0, A_{ths}, AR_{ths}, PR_{ths} \in \{0,1\} \quad \forall t, h, s / m_{sh} = s
\end{aligned}
$$

Resultado: 1585€