

METODOLOGÍAS Y MODELOS DE PLANIFICACIÓN DEL EQUIPO GENERADOR



Andrés Ramos

Mariano Ventosa

Febrero 1996

CONTENIDO

1. Funciones de la planificación
2. Objetivo de la planificación de la expansión de la generación
3. Criterios
4. Aspectos
5. Componentes
6. Defectos y nuevas tendencias
7. Objetivo de la planificación de la explotación de la generación



“La planificación eléctrica, que tendrá carácter básico y cuyo ámbito se extiende a todo el Sistema Eléctrico Nacional, será realizada por el Estado, con la participación de las Comunidades Autónomas, conforme a criterios de *garantía del suministro* eléctrico, *gestión integrada* de los recursos energéticos a escala nacional, de ahorro y *gestión de la demanda*, mejora de la eficiencia, rendimiento y desarrollo tecnológico de las instalaciones eléctricas, protección del *medio ambiente* y de los derechos de los consumidores y usuarios, y de racionalización y objetiva *retribución de los costes incurridos* en el ejercicio de las actividades eléctricas”
(Ley de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional, 31 de diciembre de 1994)

REFERENCIAS

- [1] Almeida, A.T. de, Rosenfeld, A.H., Roturier, J. y Norgard, J. (eds.) *"Integrated Electricity Resource Planning"*. Kluwer Academic Publishers. NATO ASI Series. July 1993.
- [2] Berrie, T. W.. *"Electricity Economics and Planning"*. IEE Power series 16. 1992.
- [3] Munasinghe, M. *"Electric Power Economics"* Butterworths. London, UK. 1990.
- [4] Stoll, H.G. *"Least-Cost Electric Utility Planning"*. John Wiley & Sons. New York, USA. 1989.
- [5] Schweppe, F.C., Caramanis, M., Tabors, R.D. and Bohn, R.E. *"Spot Pricing of Electricity"* Kluwer Academic Publishers. Boston, USA. 1988.
- [5] Power Technologies Inc. *"Curso sobre técnicas de planificación de sistemas eléctricos de potencia"*. 1987.
- [6] Jornadas de intercambio de experiencias sobre planificación eléctrica. UNESA. 1995.
- [7] *Advanced Planning Methods in Generation, Transmission and Distribution of Electric Energy Systems*. EES-UETP Instituto de Investigación Tecnológica. 1993.
- [8] International Atomic Energy Agency. *"Expansion Planning for Electrical Generating Systems. A Guidebook"*. Technicals Reports Series No. 241. Vienna, Austria. 1984.
- [9] Wood, A. J., Wollenberg, B.F.. *"Power Generation Operation & Control"*. John Wiley & Sons. New York, USA. 1984.
- [10] Marsh, W.D. *"Economics of Electric Utility Power Generation"*. Oxford University Press. New York, USA. 1980.

OBJETIVO FUNDAMENTAL DE LA PLANIFICACIÓN

- **DAR SERVICIO AL USUARIO AL MÍNIMO COSTE.**
 - + Manteniendo calidad y fiabilidad en el servicio.
 - + Para unas instalaciones existentes o alternativas.

- **UN SISTEMA ELÉCTRICO BIEN DISEÑADO COMBINA:**
 - + Costes.
 - + Fiabilidad.
 - + Medio ambiente.
 - + Financiación.

- **DECISIONES COMPLEJAS CON HORIZONTES TEMPORALES MUY DIVERSOS.**

- **UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CÁLCULO JERARQUIZADAS EN EL TIEMPO PARA CADA SUBSISTEMA.**

OBJETIVO FUNDAMENTAL DE LA PLANIFICACIÓN

- El objetivo fundamental de la planificación de una compañía (sistema) eléctrica es proporcionar servicio al usuario al mínimo coste, sabiendo que debe mantenerse una calidad en el mismo y que se dispone de un conjunto de instalaciones de generación y transporte de energía eléctrica existentes o alternativas.
- Un sistema eléctrico bien diseñado es aquél que combina, de manera aceptable, los costes de inversión y explotación, la fiabilidad en el suministro, flexibilidad, robustez, las consideraciones medioambientales y no sobrepasa la capacidad de financiación de la compañía.
- Las decisiones de planificación y explotación de la generación que toma una compañía eléctrica son ciertamente complejas, con horizontes temporales de aplicación muy diversos. Abarcan desde decenas de años para la expansión de la generación a varios minutos en el caso de despacho económico.
- Estas decisiones se articulan para lograr los objetivos de explotación óptima del sistema eléctrico. Para coordinarlas se utilizan un conjunto de herramientas de cálculo jerarquizadas según su alcance temporal y para cada subsistema que proporcionan información hacia el siguiente nivel de decisión.



ESTUDIOS DE PLANIFICACIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

- Los principales subsistemas que se deben abarcar en la planificación de un sistema eléctrico son:
 - + recursos de generación y/o demanda
 - + recursos de transporte/reparto/distribución
 - + recursos económico/financieros
- Se debe comprobar el equilibrio económico/financiero a largo plazo de las decisiones: remuneración adecuada de las inversiones, diseño de las tarifas.





ILLUSTRATIVE PLANNING SYSTEM

- Visión general y completa de la planificación de una compañía verticalmente integrada con generación, transporte, distribución. La remuneración de la compañía está basada en costes incurridos. La compañía establece unas tarifas para recuperar los costes.



JERARQUIZACIÓN DE FUNCIONES DE LA PLANIFICACIÓN SEGÚN SU ALCANCE TEMPORAL

- La jerarquización temporal busca desagregar las decisiones dada la imposibilidad práctica de encontrar un modelo capaz de caracterizar con suficiente detalle todos los ámbitos.
- Cuanto más largo es el periodo de estudio evaluado menor es el detalle con el que estudia la explotación real del sistema.
- El espíritu de esta jerarquización es representar adecuadamente las principales variables y características del sistema eléctrico que afectan a cada nivel de decisión.
- La jerarquización hace manejable la complejidad de cálculo necesario en cada uno de los niveles, al repartir entre ellos las diferentes funciones.
- Las decisiones tomadas por un modelo de mayor alcance temporal comprometen a los modelos inferiores.
- Separación en los diferentes horizontes de tiempo y para las diferentes fuentes de producción y demanda de las funciones de planificación.

FUNCIONES DE LA PLANIFICACIÓN							
	MUY LARGO PLAZO 25 AÑOS	LARGO PLAZO 5 AÑOS	MEDIO PLAZO 1 AÑO	MEDIO PLAZO CUATRIMESTRE	CORTO PLAZO SEMANA	MUY CORTO PLAZO DÍA	TIEMPO REAL < 1 HORA
TÉRMICAS	Instalación	Transformación. Repotenciación	Mantenimiento Programado Gestión del combustible	Ofertas de Combustible	Acoplamiento de los Grupos Paradas de Fin de Semana	Acoplamiento de los Grupos Paradas Nocturnas	Despacho Económico
NUCLEARES	Instalación	Ciclo Combustible Nuclear.	Mantenimiento Programado				Control
HIDRÁULICAS	Instalación	Embalses Hiperanuales	Embalses Anuales			Acoplamiento de los Grupos	Frecuencia Potencia
BOMBEO	Instalación		Bombeo Estacional		Bombeo Semanal	Bombeo Diario	
GENERACIÓN ESPECIAL SISTEMA INDEPEND.	Instalación						
CONTRATOS LARGO Y MEDIO PLAZO	Internacionales, Grandes Consumidores, Comercializadoras.				Intercambios entre Áreas.		Cobertura de la Demanda y de los Intercambios

GESTIÓN DE LA DEMANDA		Campañas Publicitarias, Medidas Tarifarias		Tarifa con discriminación diaria, horaria e interrumpibilidad..	
------------------------------	--	---	--	--	--



ALCANCE	FUNCIONES
MUY LARGO PLAZO 10 a 25 años	<ul style="list-style-type: none"> • decisión de expansión del equipo generador • nueva instalación de centrales o retirada de existentes • contratos a largo plazo
LARGO PLAZO 2 a 5 años	<ul style="list-style-type: none"> • gestión del ciclo de combustible nuclear • política de utilización de embalses hiperanuales • gestión de la demanda a largo plazo (tarifas, publicidad)
MEDIO PLAZO 1 a 2 años	<ul style="list-style-type: none"> • programación de los ciclos de mantenimiento • gestión de embalses anuales • análisis de cobertura de la demanda • previsiones de consumos de combustibles y costes de explotación
CORTO PLAZO 1 a 4 semanas	<ul style="list-style-type: none"> • funcionamiento de los grupos de bombeo • programación de las paradas en fin de semana de grupos térmicos • intercambios entre áreas
MUY CORTO PLAZO < 1 semana	<ul style="list-style-type: none"> • programación semanal y horaria de la generación térmica, hidráulica y de bombeo • decisión sobre arranques y paradas de grupos
Tiempo real < 1 hora	<ul style="list-style-type: none"> • despacho económico de los grupos acoplados a red • control frecuencia/potencia de las áreas de generación







POWER SYSTEM PLANNING FUNCTIONS AND MODELS

- Visión del encaje de los modelos informáticos reales dentro del conjunto de funciones de planificación de una compañía.
- Al final de este curso se deberían establecer los modelos de que se dispone y/o se van a construir para rellenar las funciones de planificación.



PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

- **Objetivo:** Determinar el plan de expansión del equipo generador de coste mínimo para satisfacer la demanda prevista

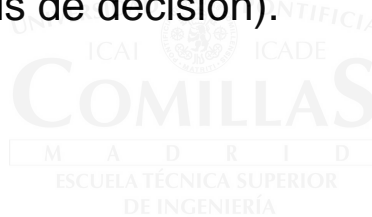
- **Restricciones**
 - Técnicas
 - Fiabilidad
 - Financieras
 - Medioambientales
 - Otras (Políticas, Administrativas, ...)

- **Plan de expansión definido por:**
 - Combinación de las diferentes tecnologías
 - Potencia total instalada
 - Fechas de instalación de los grupos



PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

- Se presenta la visión clásica de la planificación de la expansión de la generación más como problema matemático a resolver que como tarea de planificación. Las diferencias entre un problema y una tarea es la consideración de múltiples objetivos (técnicas multiatributo -trade-off analysis- o multiobjetivo) y de incertidumbre (flexibilidad, robustez, estrategias de decisión, análisis de decisión).



PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

CRITERIOS

- **Fiabilidad**

- + DETERMINISTAS

- Mínimo margen de reserva en potencia y en energía

- + PROBABILISTAS

- Máxima LOLP (probabilidad de pérdida de carga)
 - Máxima energía esperada no suministrada

- **Medioambientales**

- Restricciones de emisión de polutantes por grupo, central, región, país
 - Externalidades
 - Localizaciones disponibles

- **Flexibilidad y Robustez**

- Mínimo arrepentimiento frente a múltiples escenarios
 - Estrategias frente a planes

- **Volumen de inversión**

PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

ASPECTOS A CONSIDERAR

- **Previsión de la demanda y acciones de gestión de la demanda (eficiencia y ahorro)**
 - Potencia
 - Energía
 - Forma de la curva
- **Política energética nacional (diversificación de recursos, desarrollo recursos autóctonos)**
- **Consideraciones medioambientales**
- **Tecnologías disponibles**
 - Nuclear
 - Térmicas. Ciclo combinado. Turbinas de gas
 - Hidráulicas
 - Geotérmica
 - Bombeo
 - Generación especial (autoproduktores, minihidráulicas, RSU, biomasa, cogeneración, ...)
 - No despachables (solar, eólica, ...)

PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

ASPECTOS A CONSIDERAR (cont.)

- **Desarrollo de la red de transporte y reparto**
- **Escenarios**
 - Fallos graves no previstos.
 - Demanda
 - Hidrología
 - Retrasos en la puesta en servicio
- **Consideraciones económicas y financieras**
- **Periodos construcción centrales. Periodos de amortización**
- **Horizonte de planificación**

PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

ASPECTOS A CONSIDERAR

- Existe una gran diferencia entre los periodos de construcción de centrales nucleares, centrales hidráulicas y grupos térmicos convencionales. En la situación actual española con alternativas de cierto tamaño exclusivamente térmicas, con períodos de construcción inferiores a 36 meses, el momento de la decisión está muy cerca del momento de su utilización.

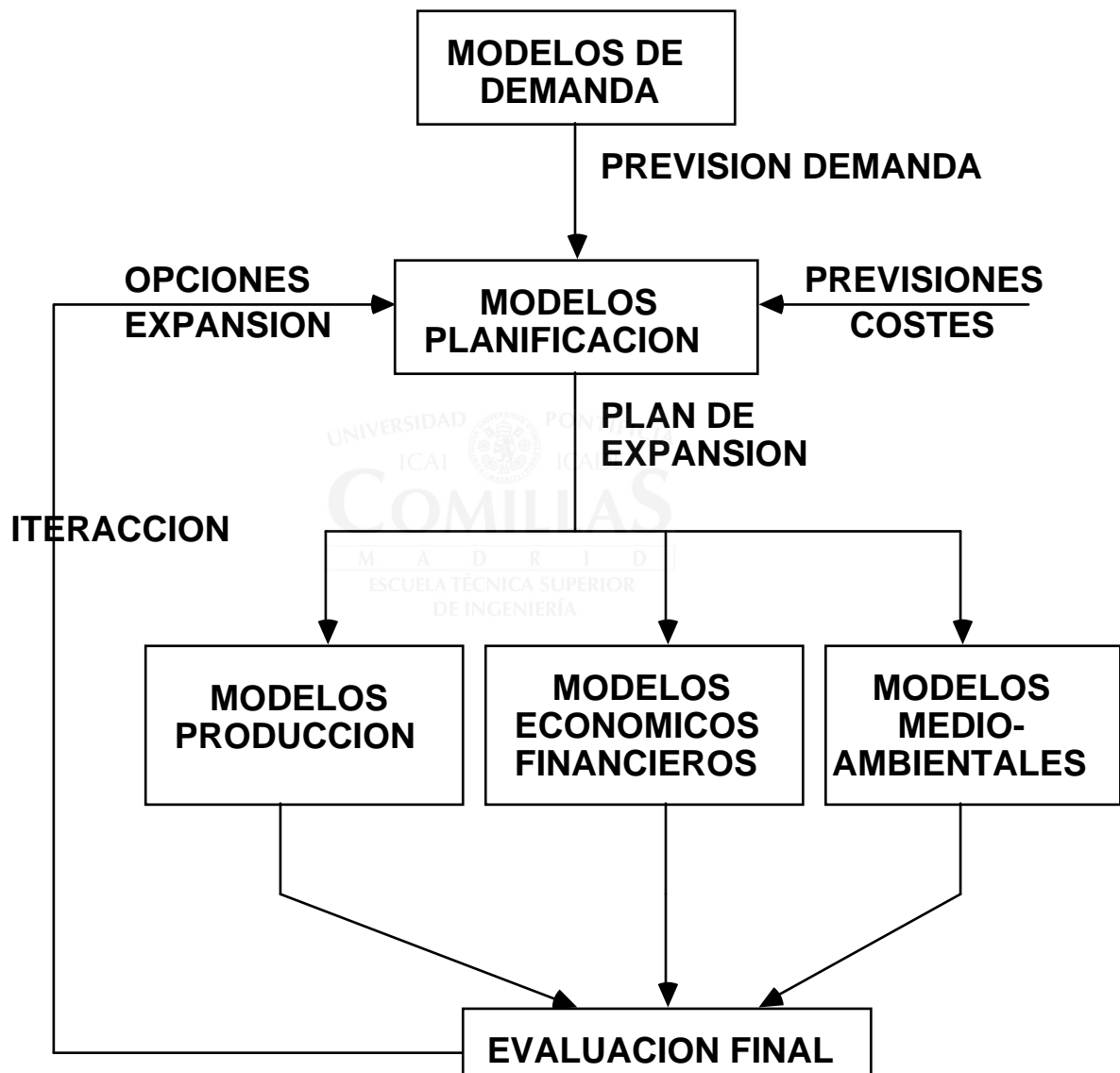


PLANIFICACIÓN DE EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN

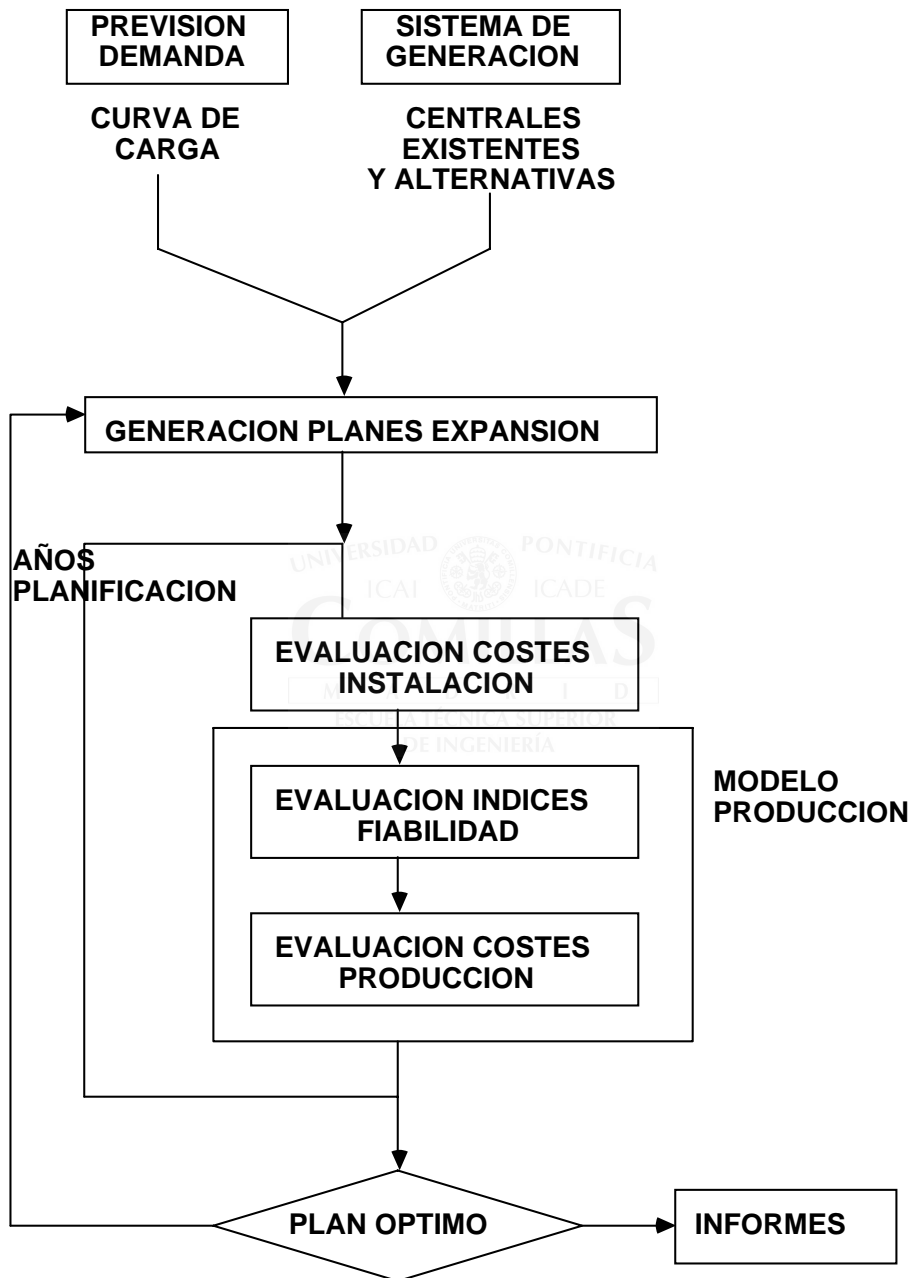
COMPONENTES BÁSICOS

- **Previsiones**
 - **Demanda**
 - **Potencia**
 - **Energía**
 - **Forma de la curva de carga**
 - **Costes**
 - **Combustibles**
 - **Inversión**
 - **Fijos y variables operación y mantenimiento**
 - **Tasas de escalación y descuento**
- **Definición y caracterización de las alternativas de expansión**
- **Caracterización de las incertidumbres (demanda, costes, hidráulicidad,...)**
- **Definición de escenarios**
- **Procedimiento de selección de alternativas. Sensibilidad.**

PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN



PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN



DEFECTOS DE LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE PLANIFICACIÓN [Berrie, 92]

- **No se contempla la influencia de otros sectores energéticos.**
- **Planificación sin considerar aspectos como la gestión de la demanda, la autoproducción o la cogeneración.**
- **Falta de precisión en los cálculos de predicción de la demanda, costes, tiempos de construcción, rendimientos, ...**
- **Ofrecen soluciones de planificación estáticas.**
- **Las soluciones de coste mínimo no lo son en la práctica.**
- **Poca robustez del plan de coste mínimo frente a cambios súbitos (catástrofes, sequías prolongadas, retrasos en puesta en servicio, grandes averías, ...)**
- **Incapacidad de solucionar el problema de planificación bajo incertidumbre, pese a los complicados análisis de riesgo.**

DEFECTOS DE LOS MÉTODOS TRADICIONALES DE PLANIFICACIÓN [Berrie, 92] (cont.)

- **Pérdida de confianza de los directivos en las soluciones ofrecidas por los modelos de planificación debido a:**
 - **Utilización de herramientas de planificación inadecuadas.**
 - **Desconocimiento de la metodología del modelo, y, por tanto, de sus limitaciones.**
- **No consideración de las reacciones del consumidor frente a la planificación.**
- **Desviaciones entre los precios calculados en la planificación y los precios reales de la electricidad.**
- **Falta de comunicación entre planificadores, economistas y propietarios de la generación.**

NUEVAS TENDENCIAS EN LA PLANIFICACIÓN **[Berrie, 92]**

- **Incorporar en la planificación la gestión de la demanda, autoproducción y cogeneración.**
- **Planificación dinámica: programación temporal de los incrementos de potencia óptimos en todo el horizonte de planificación.**
- **Utilizar planificación de escenarios mejor que planificación determinista.**
- **Diseñar programas de planificación flexibles (plan con menor probabilidad de ser inviable en cualquier escenario).**
- **Elegir programas de planificación robustos capaces de soportar cambios súbitos (minimicen el arrepentimiento frente al peor escenario considerado -criterio minimax-).**
- **Obtener soluciones multiatributo mejor que planes basados únicamente en el coste mínimo.**
- **Utilizar modelos que proporcionen distintas alternativas a los directivos que deben tomar las decisiones, comparando unas con otras las mediante gráficos fáciles de interpretar.**
- **Usar la teoría de juegos, juegos de guerra, teoría de catástrofes en la planificación eléctrica.**

- **Considerar en el proceso de planificación la incertidumbre motivada por un mercado eléctrico cuya regulación está en proceso de revisión.**



PLANIFICACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE LA GENERACIÓN

• **Objetivos**

- Determinar el plan de explotación óptimo del equipo generador (y del transporte) disponible para satisfacer la demanda prevista al mínimo coste.
- Determinar y controlar el grado de cobertura de abastecimiento de electricidad.

• **Funciones de la explotación**

- Estimación de los costes de explotación
- Estimación de índices de fiabilidad
- Estimar otras características de la explotación
- + Programación del mantenimiento
- + Gestión de combustibles y de los recursos hidráulicos
- + Utilización de los grupos
- + Previsiones económicas y financieras
- + Gestión de la demanda

- **Restricciones**

- Técnicas
- Fiabilidad
- Medioambientales
- Otras (Políticas, Administrativas, ...)

- **Clasificación de las funciones de planificación de la explotación.**

- Según las necesidades de consideración de la red.
 - + NUDO ÚNICO.
 - + MULTIÁREA.
 - + GENERACIÓN-RED.
- Según las necesidades de consideración del sistema hidráulico.
 - + PREFERENTEMENTE TÉRMICA.
 - + COORDINACIÓN HIDROTÉRMICA.
 - + HIDRÁULICA.

PLANIFICACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN **DE LA GENERACIÓN**

- **Básicamente las funciones y objetivos de la planificación de la explotación de la generación son similares a las de la expansión. Únicamente las decisiones de inversión son conocidas de antemano. Se trata de un problema de gestión óptima de recursos.**
- **Ahora la representación del sistema eléctrico puede ser más detallada.**
- **Las funciones de planificación de la explotación cambian según se necesite o no el modelado de la red eléctrica y el modelado de la red hidráulica por su importancia dentro de la gestión de los recursos de generación.**

COMILLAS
M A D R I D
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA

PLANIFICACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE LA GENERACIÓN

CRITERIOS

- **Costes**

- **Seguridad**
 - Preventiva: igualación o minimización de medidas de fiabilidad, N+1.
 - Correctiva: deslastre de carga.

- **Medio ambientales**
 - Restricciones de máximas emisiones de polutantes por grupo, central, región, compañía, país
 - Diferentes criterios de despacho (minimización de emisiones, minimización de costes incluyendo externalidades)

PLANIFICACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE GENERACIÓN

ASPECTOS A SER CONSIDERADOS

- **Previsión demanda. Gestión de la demanda**
 - Curva horaria.
 - Curva duración-carga.
 - Incertidumbre de la demanda (laboralidad, temperatura, economía)
 - Efectos de las tarifas.
 - Interrumpibilidad
- **Generación térmica**
 - Costes variables
 - Mínimos técnicos
 - Tasas de fallo y reparación
 - Reservas de operación
 - Costes de arranque y parada
 - Rampas de subida y bajada, tiempos de arranque y parada

PLANIFICACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DE GENERACIÓN

ASPECTOS A SER CONSIDERADOS (cont.)

- **Generación hidráulica y de bombeo**
 - Incertidumbre en las aportaciones de energía
 - Potencias mínima (fluyente), máxima (altura)
 - Red hidráulica
- **Red eléctrica**
 - Parámetros de las líneas
- **Política energética nacional**
 - Cuotas de combustibles