



# Modelos de sistemas de energía eléctrica

Caracterización de un sistema de energía eléctrica

**Andrés Ramos**

# Contenido

---

1. Atributos de clasificación

2. Técnicas matemáticas cuantitativas



# Atributos de clasificación de modelos

---

- Son las **dimensiones** (la lista de la compra) de un modelo
- Permiten **definir las características** de cada modelo posible
- **Establecer las ventajas e inconvenientes** en el modelado del sistema hecho en cada modelo
- Definir la **situación actual** de los modelos y las **tendencias de mejora**, características todavía no modeladas explícitamente

# Atributos de clasificación (i)

---

- División temporal de las decisiones
- Modelado del mercado
  - Equilibrio entre todas las empresas, única empresa
- Función/es objetivo
- División espacial
  - Nudo único
  - Diferentes modelos de red

# Atributos de clasificación (ii)

---

- Demanda
  - Cronológica, monótona
  - Función del precio
- Subsistema hidráulico
  - Hidráulica agregada
  - Topología red hidráulica
- Estocasticidad
  - Determinista
  - Probabilista o estocástico
- Decisiones intra o interperiodo

# Equilibrios en el modelado

---

- Mayor alcance temporal u horizonte de estudio más alejado, menor detalle de modelado
- Mayor tamaño del sistema, menor detalle de modelado si la técnica matemática es limitante
- Mayor cercanía, menor incertidumbre
- Modelado del mercado depende del alcance temporal. Una empresa en el corto plazo, todas las empresas en el largo plazo

# División temporal

---

- **Alcance**
  - intervalo de tiempo para el que se reproduce la explotación del sistema (1 año)
- **Horizonte**
  - momento a partir del cual se estudia el sistema (2005)
- **Periodo**
  - división temporal unitaria con **relevancia** para la representación del sistema (semana)

# Decisiones inter e intra-periodo

---

- Interperiodo
  - mantenimiento programado de los grupos térmicos
  - gestión de recursos limitados (embalses hidráulicos y bombeo estacional)
- Intraperiodo
  - acoplamiento de los grupos térmicos
  - bombeo diario
  - arranques/paradas diarias

# Demanda

---

- Demanda del sistema o residual de una empresa
  - Curva cronológica
  - Curva monótona duración/carga o carga/tiempo
    - aproximación analítica no lineal
    - aproximación poligonal
    - aproximación por escalones
- Función demanda/precio
- Caracterización aleatoriedad
  - Determinista
  - Estocástica

# Mercado de electricidad

---

- Tipo de competencia
  - Monopolio (empresa única)
  - Oligopolio (número reducido de empresas)
  - Competencia perfecta (numerosas empresas)
- Número de empresas
  - Todas las empresas “estratégicas”
  - Sólo una empresa
- Función objetivo
  - Maximización de margen de contribución
  - Minimización de costes variables

# Organización del mercado de electricidad

---

- Tipos de ofertas
  - operación centralizada con costes auditados
  - ofertas complejas
  - ofertas simples (en cartera, con reglas)
- Secuencia temporal de mercados
- Información publicada por el OM

# Subsistema de la generación hidráulica

## (i)

---

- Acoplamiento espacio-temporal (gestión de aportaciones interperiodo)
- Caracterización del subsistema (espacial)
  - Agregada única
  - Agregada por subsistemas hidráulicos (cuencas o subcuencas)
  - Topología hidráulica detallada (grupos, plantas y embalses)
- Caracterización de las aportaciones (temporal)
  - Determinista para algún/os escenario/s
  - Estocásticas

# Subsistema de la generación hidráulica (ii)

---

- Potencias **mínima** (riegos, fluyente), **máxima** (función de la altura), **programada** (modelos de orden superior), **de emergencia** (según ratio de capacidad embalse a potencia máxima)



# Subsistema de la generación térmica (i)

---

- Nivel de detalle en **potencia**
  - Grupo con o sin mínimos técnicos
  - Central
  - Unidad de oferta
- Nivel de detalle en **costes**
  - Curvas de consumo de combustible (no lineal, poligonal, lineal)
  - Costes de arranque/parada
  - Costes variables de operación y mantenimiento o de fungibles
- Caracterización de la **aleatoriedad**
  - Determinista
  - Estocástica

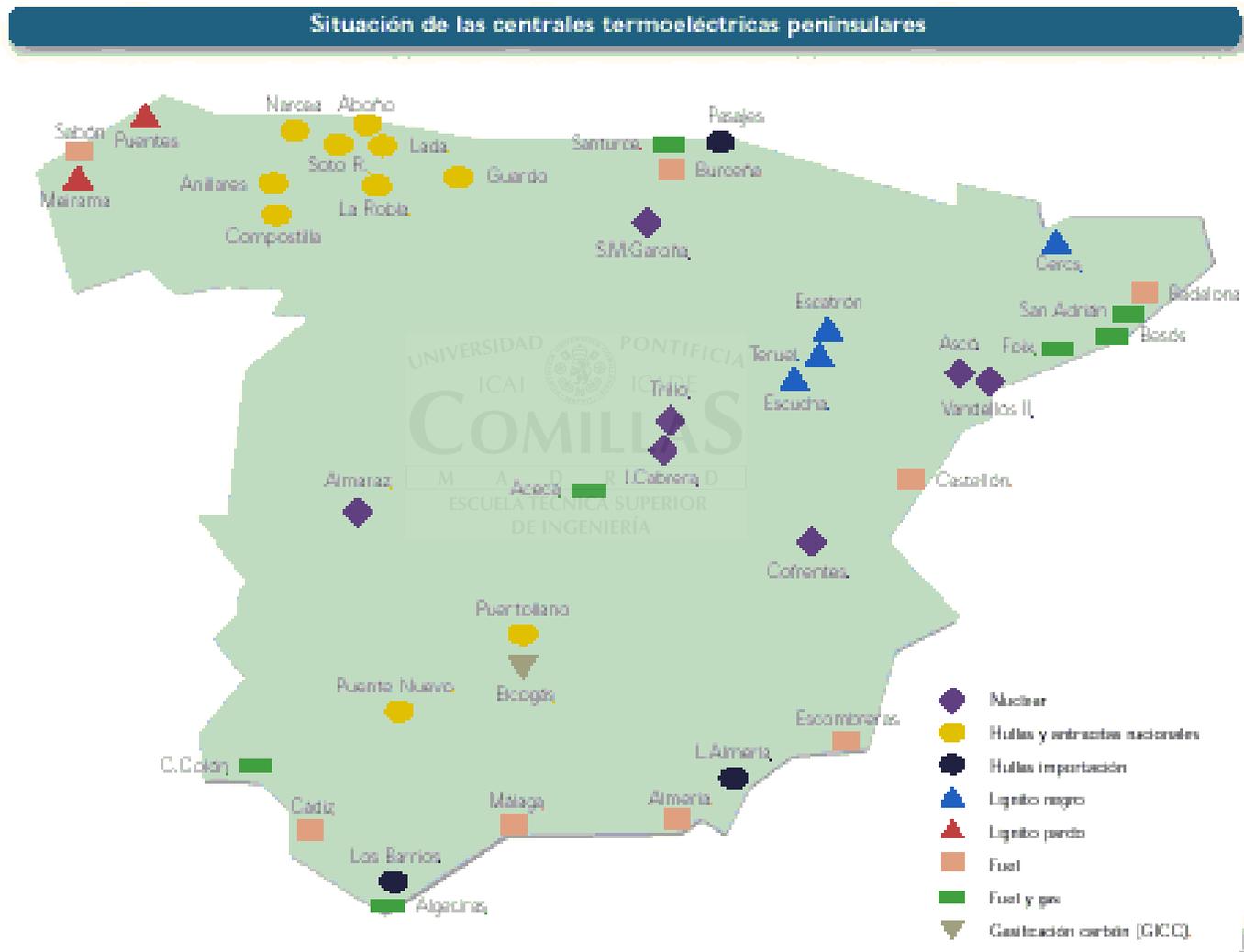
# Subsistema de la generación térmica (ii)

---

- Reserva de operación
- Seguimiento de carga con rampas de subida y bajada
- Tiempos mínimos de funcionamiento y de parada



# Situación de las centrales termoeléctricas peninsulares<sup>2</sup>



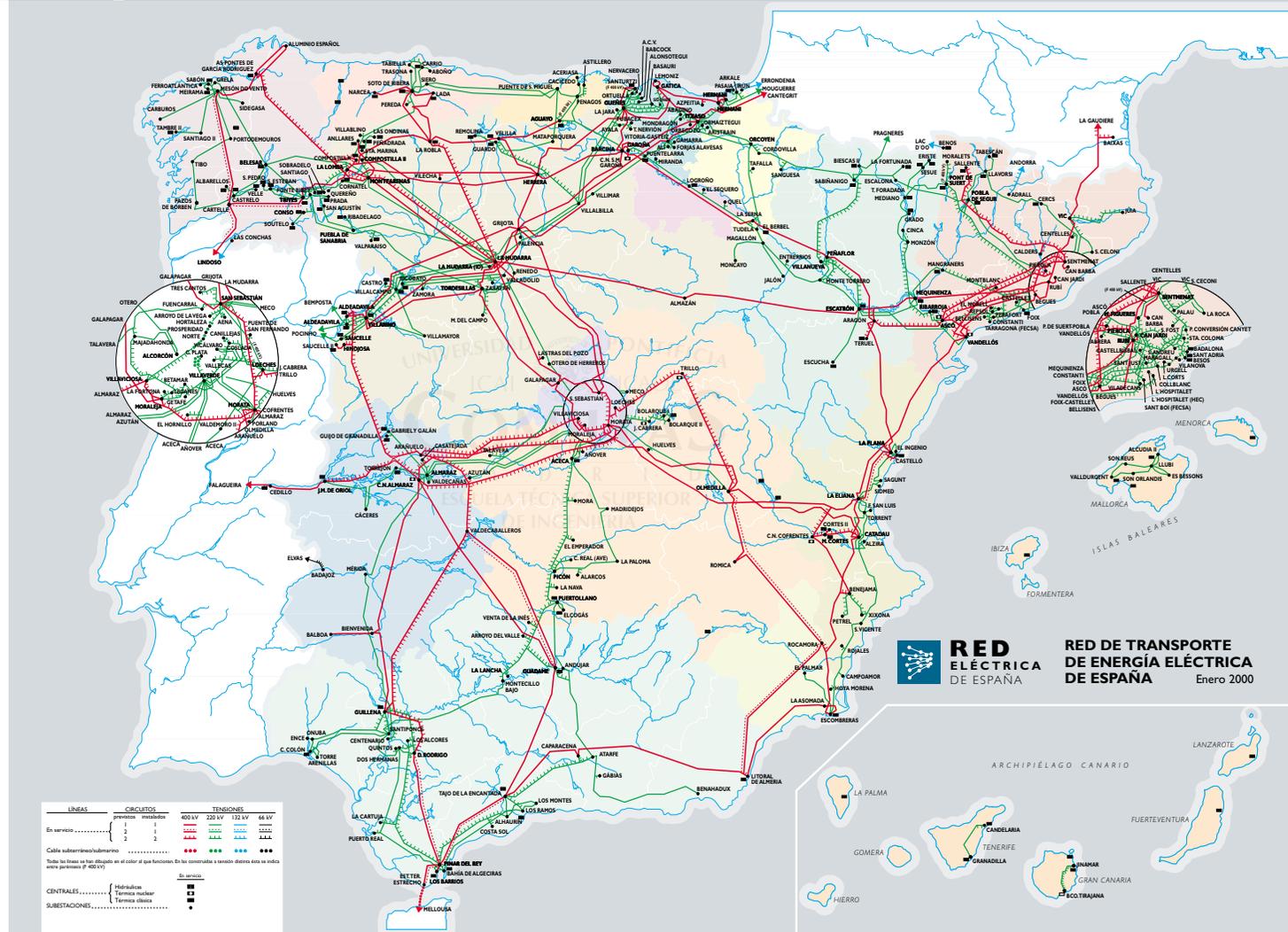
<sup>2</sup>Red Eléctrica de España. Operación del Sistema Eléctrico. Informe 1999. Disponible en [www.ree.es](http://www.ree.es)

# Subsistema de la red eléctrica

---

- Nudo único
- Generación/red
  - Modelo de transporte (1ª ley de Kirchoff)
  - Flujo de cargas óptimo en DC sin o con pérdidas
  - Flujo de cargas óptimo en AC
  - Aspectos dinámicos

# Red de transporte de energía eléctrica de España<sup>2</sup>



<sup>2</sup>Red Eléctrica de España. Operación del Sistema Eléctrico. Informe 1999. Disponible en [www.ree.es](http://www.ree.es)

# Mantenimiento de generación y de red

---

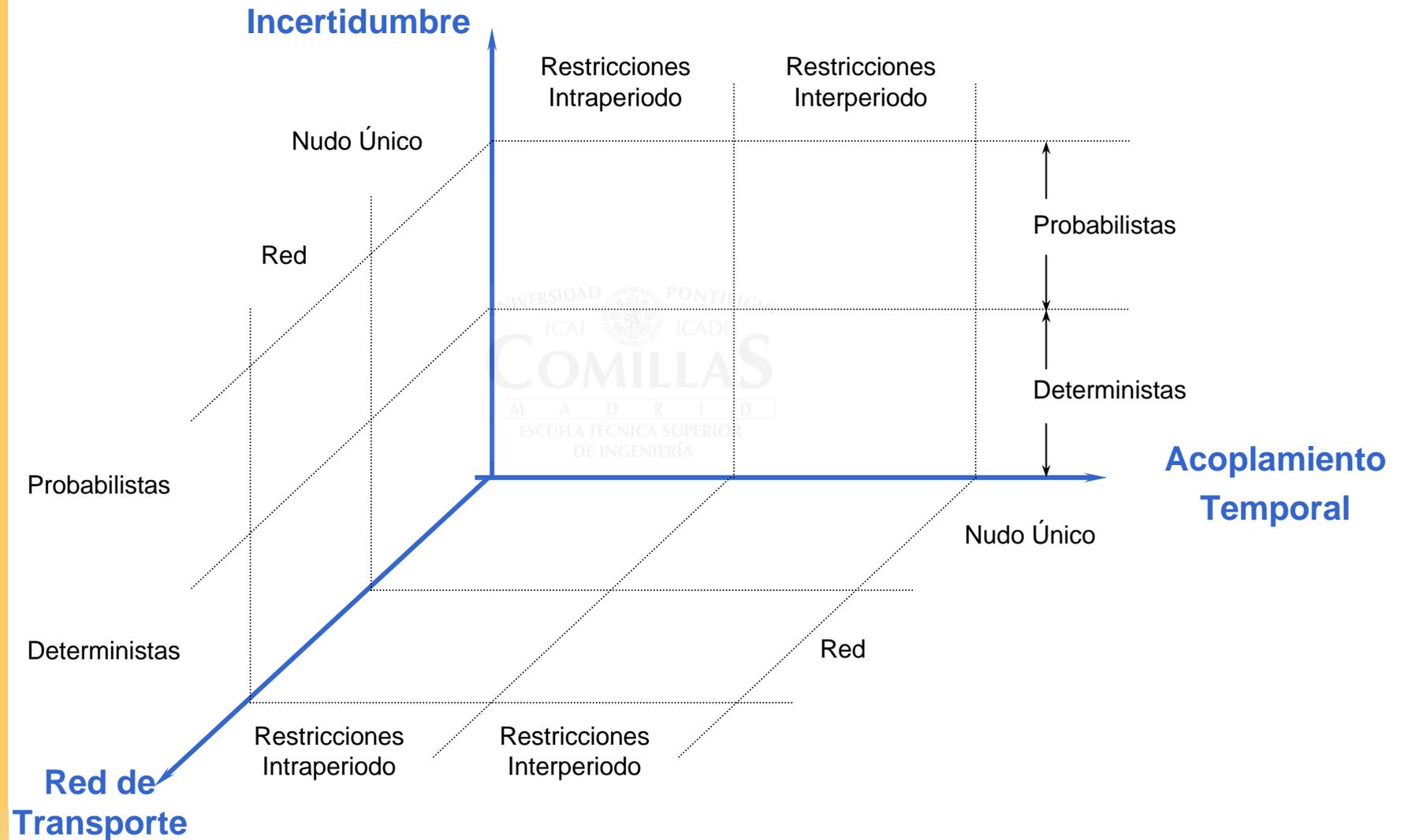
- Basado en **datos históricos** (dificultad: aplicabilidad a situaciones futuras)
- Por **asignación aleatoria** (dificultad: desechar programaciones no factibles o incorrectas)
- En modo **simulación**: histórico como referencia más reglas lógicas para resolver las situaciones que ocurran
- **Módulo exógeno completo** de programación del mantenimiento (uno para generación, otro de red) más módulo lógico que resuelva los conflictos que aparezcan (especialmente en simulación)

# Estocasticidad

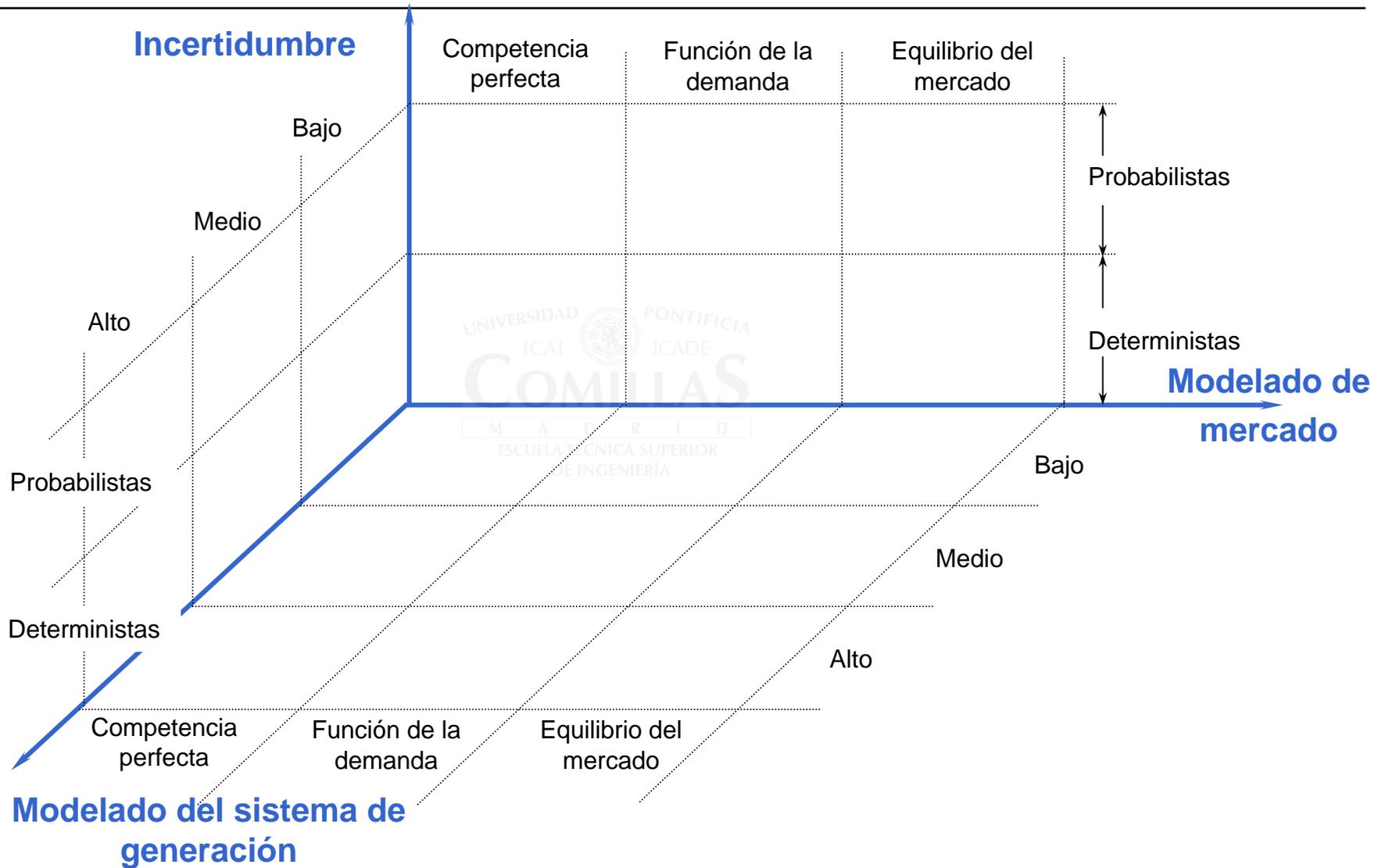
---

- **Determinista**
  - Considera un único escenario. Un caso particular es el escenario de valores medio de los parámetros estocásticos
- **Probabilista o estocástico**
  - Considera explícitamente la incertidumbre (en precios marginales, aportaciones, precios de combustible, precio del dinero, etc.)

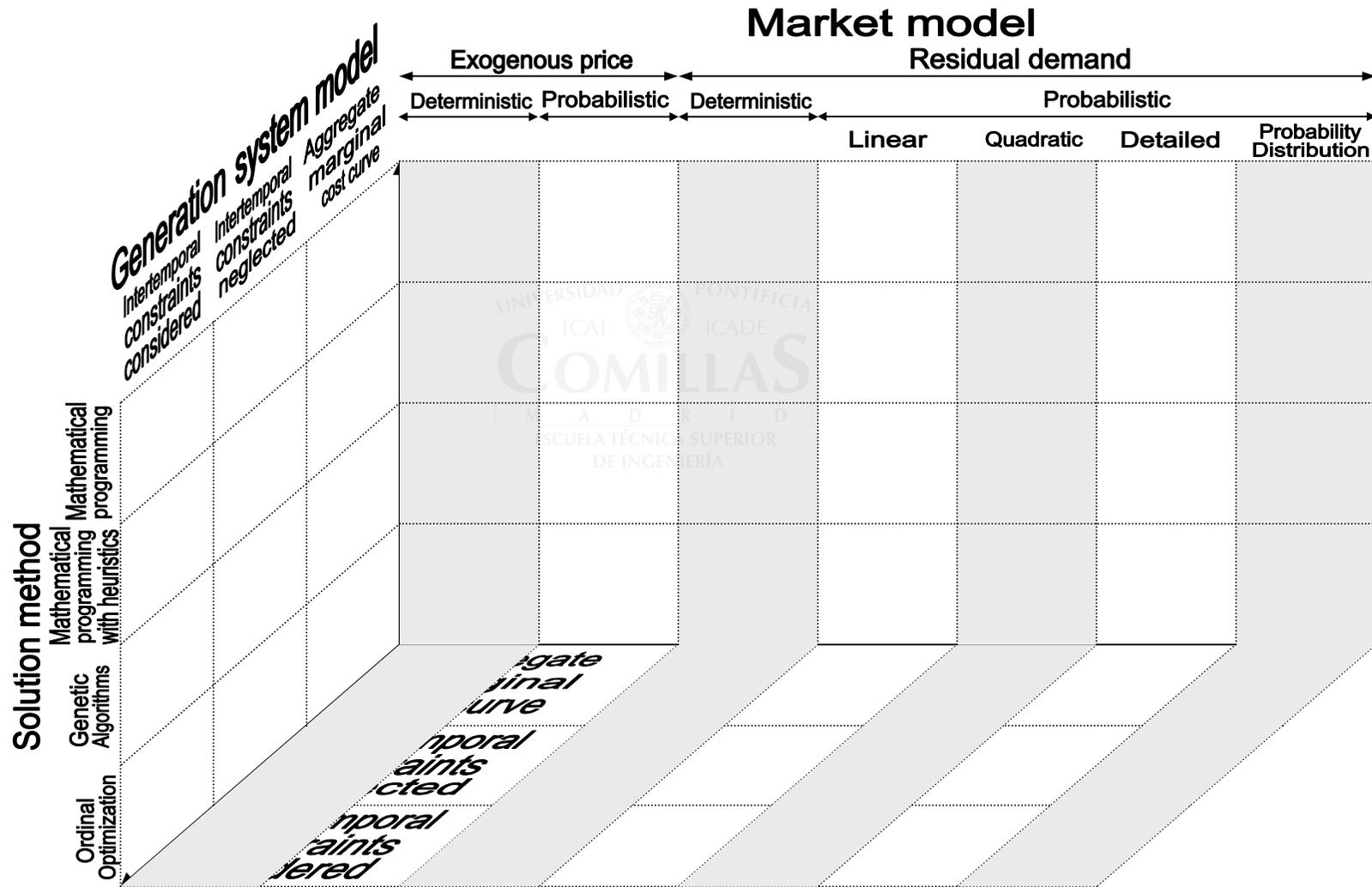
# Gráfico de clasificación de modelos (i)



# Gráfico de clasificación de modelos (ii)



# Gráfico de clasificación de modelos (iii)



# Contenido

---

1. Atributos de clasificación

2. Técnicas matemáticas cuantitativas



# Capacidad de adaptación

---

- **Flexibilidad** para modelar otros sistemas o características
- **Mantenibilidad**: facilidad para ser mantenido adecuadamente



# Caracterización del sistema y métodos

---

- Técnicas matemáticas deben condicionar las simplificaciones en la caracterización del sistema por el modelo y en los métodos de solución
  - **Modelado exhaustivo**, cuasi real. Puede ocasionar la carencia de un algoritmo que solucione el problema
  - **Modelado simplista** para utilizar un algoritmo disponible. Pueden llegar a darse soluciones de un problema que no existe
- El modelado debe ser un **compromiso** entre ambos casos patológicos

# Tratamiento de las decisiones

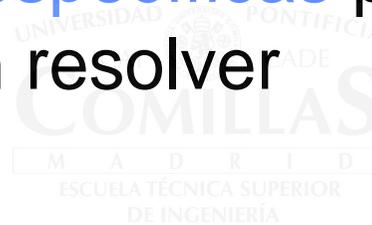
---

- Optimización
  - determina políticas/decisiones “óptimas” entre las muchas posibles
  - identifica las restricciones activas del sistema
  - permite el análisis de sensibilidad a cambios en coeficientes de variables o cotas de las restricciones
- Simulación
  - analiza las decisiones basándose en criterios previos (óptimos/heurísticos)

# Técnicas matemáticas

---

- Problemas matemáticos de **gran tamaño**, consumidores de recursos computacionales
- Adecuadas o **específicas** para los problemas que se desean resolver



# Técnicas matemáticas cuantitativas (i)

---

- Optimización

- Optimización lineal (LP), lineal entera mixta (MIP), no lineal (NLP), estocástica (descomposición de Benders, relajación lagrangiana) (SP), dinámica (DP), multicriterio (MCDM)
- Problema complementario (MCP)

- Simulación

- Simulación de Monte Carlo
- Simulación de eventos discretos
- Técnicas de reducción de varianza

# Técnicas matemáticas cuantitativas (ii)

---

- Analíticas
  - Convolución discreta
  - Simulación probabilista
- Estadística
  - Conglomerados, series temporales, redes neuronales artificiales
  - Árboles de probabilidad



# Técnicas matemáticas cuantitativas (iii)

---

- Metaheurísticos
  - Algoritmos genéticos
  - Búsquedas (tabú, directa, aleatoria, avariciosa)
  - Recocido o temple simulado (simulated annealing)
  - Lógica borrosa