

# Mejoras en la Eficiencia y Evaluación de Políticas de Agua en España

Carlos Mario Gómez  
Universidad de los Andes  
Universidad de Alcalá de Henares  
[mario.gomez@uah.es](mailto:mario.gomez@uah.es)  
26 de septiembre de 2006

# La Paradoja de Jevons (1878)

- Las ganancias en eficiencia técnica aumentan el uso de recursos naturales en lugar de disminuirlo como se sostiene habitualmente (posibles explicaciones: escasez económica vs escasez física).
- Si Jevons está en lo cierto las políticas de eficiencia son contraproducentes y los beneficios de las mismas deben compensarse con aumentos de precios, reducción de dotaciones, etc.
- Las estrategias de eficiencia no son un camino seguro hacia el desarrollo sostenible. El problema de Jevons es relevante para el diseño y el análisis de la política ambiental, al menos en materia de agua y energía.

Referencias: Jevons, S. (1878); Alcott, B. (2005)

# Plan de exposición

- Nuestro objetivo es analizar la relevancia y las implicaciones de la paradoja de Jevons para el diseño y la evaluación de la política de aguas en España, utilizando dos metodologías de análisis:
  - El análisis de equilibrio general: posibles beneficios de mejorar la eficiencia en el sector turístico de las Islas Baleares.
  - El análisis de equilibrio parcial: la demanda de agua en la agricultura española.

# *Equilibrio General: Islas Baleares*

## ▶▶ *Motivación:*

- ▶▶ El desarrollo del turismo está limitado por:
  - ▶▶ Creciente escasez y estacionalidad de la demanda.
  - ▶▶ Sequías periódicas y asignación fija de derechos de agua.
  - ▶▶ Dependencia de acuíferos sobreexplotados
- ▶▶ Para garantizar la viabilidad del sector es necesario.
  - ▶▶ Reducir la escasez.
  - ▶▶ Mejorar la gestión intertemporal.
- ▶▶ La principal estrategia consiste en “ahorrar agua”. Pero ¿es esta efectiva?

# *El Modelo Básico EGA*

## ***Teoría:***

Un modelo estático de equilibrio general de una economía pequeña y abierta.

El agua en la naturaleza es un factor de producción

## ***Datos: MCS***

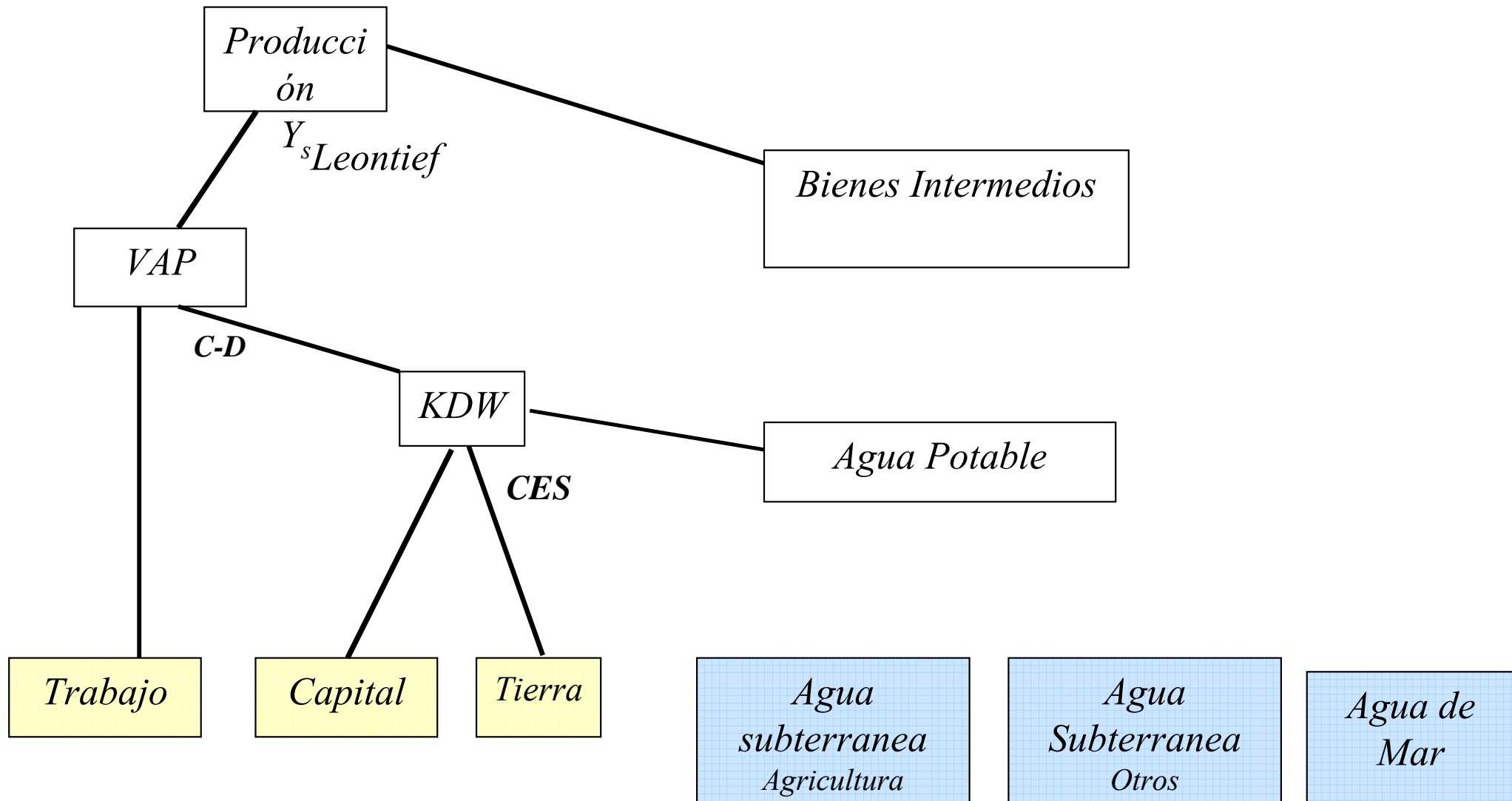
Tablas I-O (2000).

Dotaciones de agua

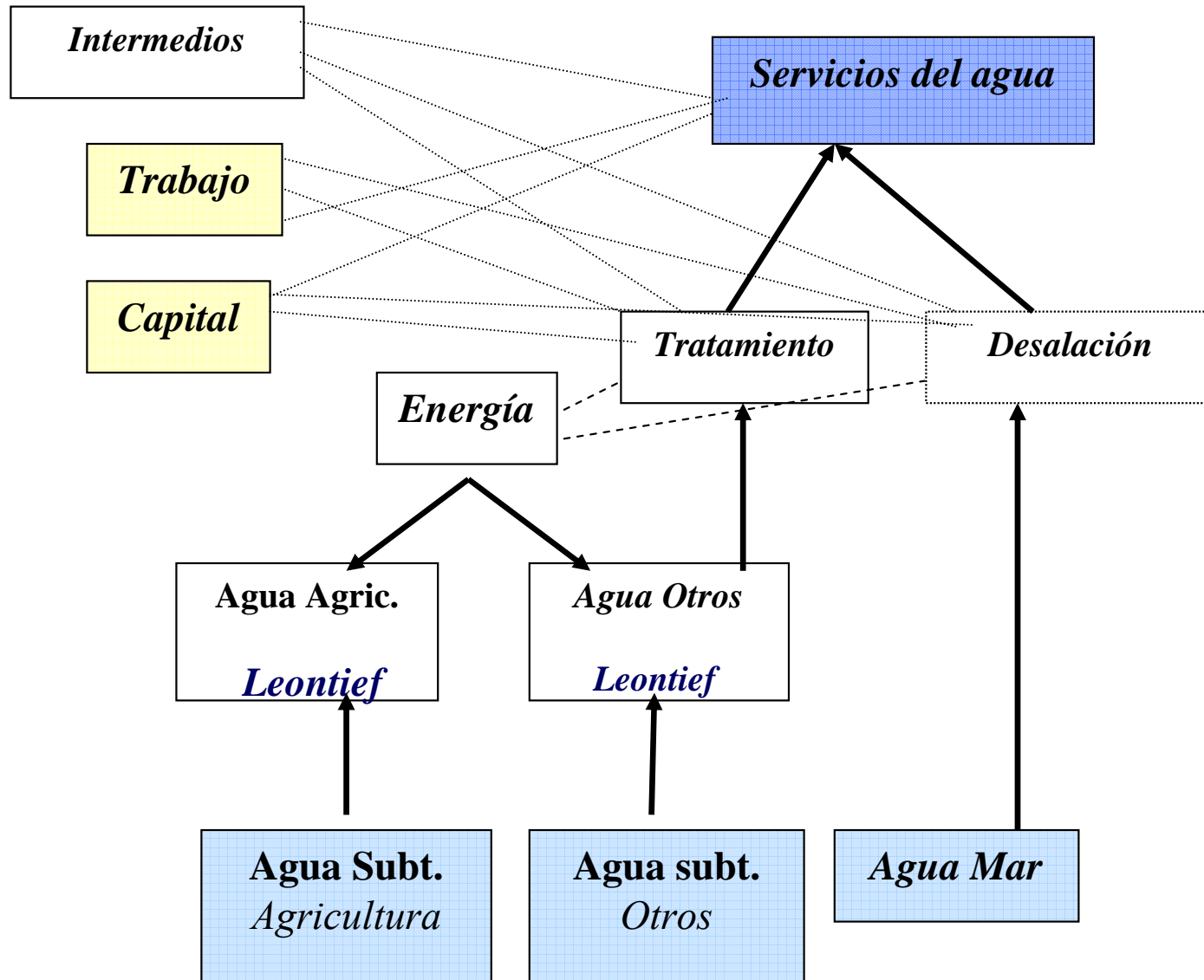
Costes de extracción, tratamiento, aplicación y desalinización.

***Calibración y Simulación***  
***GAMS, MPSGE***

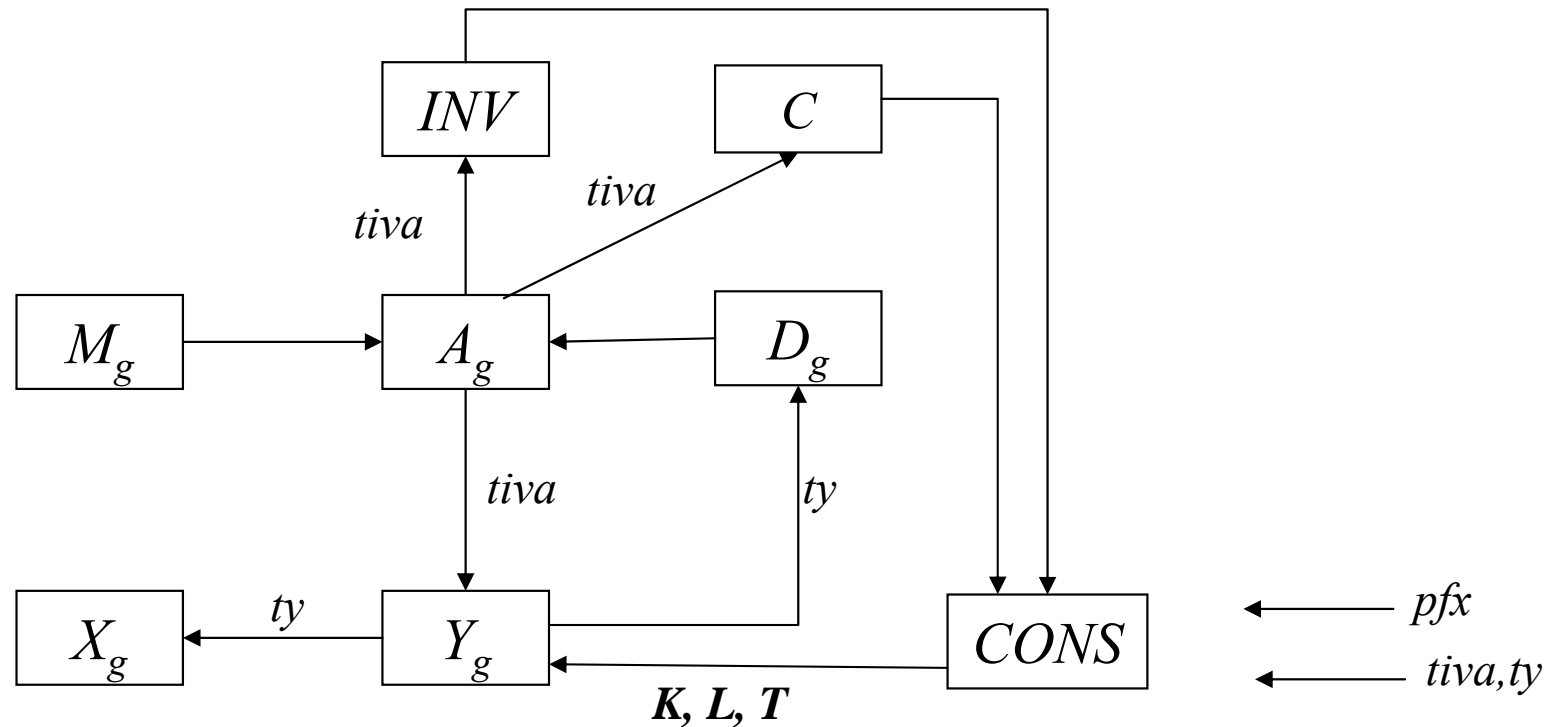
# *Tecnología de Producción – Todos los sectores excepto agua y agricultura (Energía, Industria, Turismo, Servicios)*



# Tecnología de Producción - Agua



# Demanda final y equilibrio



$$Y_g = CET(X_g, D_g)$$

$$A_g = CES(M_g, D_g)$$

$$INV = leontief(A_{g,inv}, D_{i,inv})$$

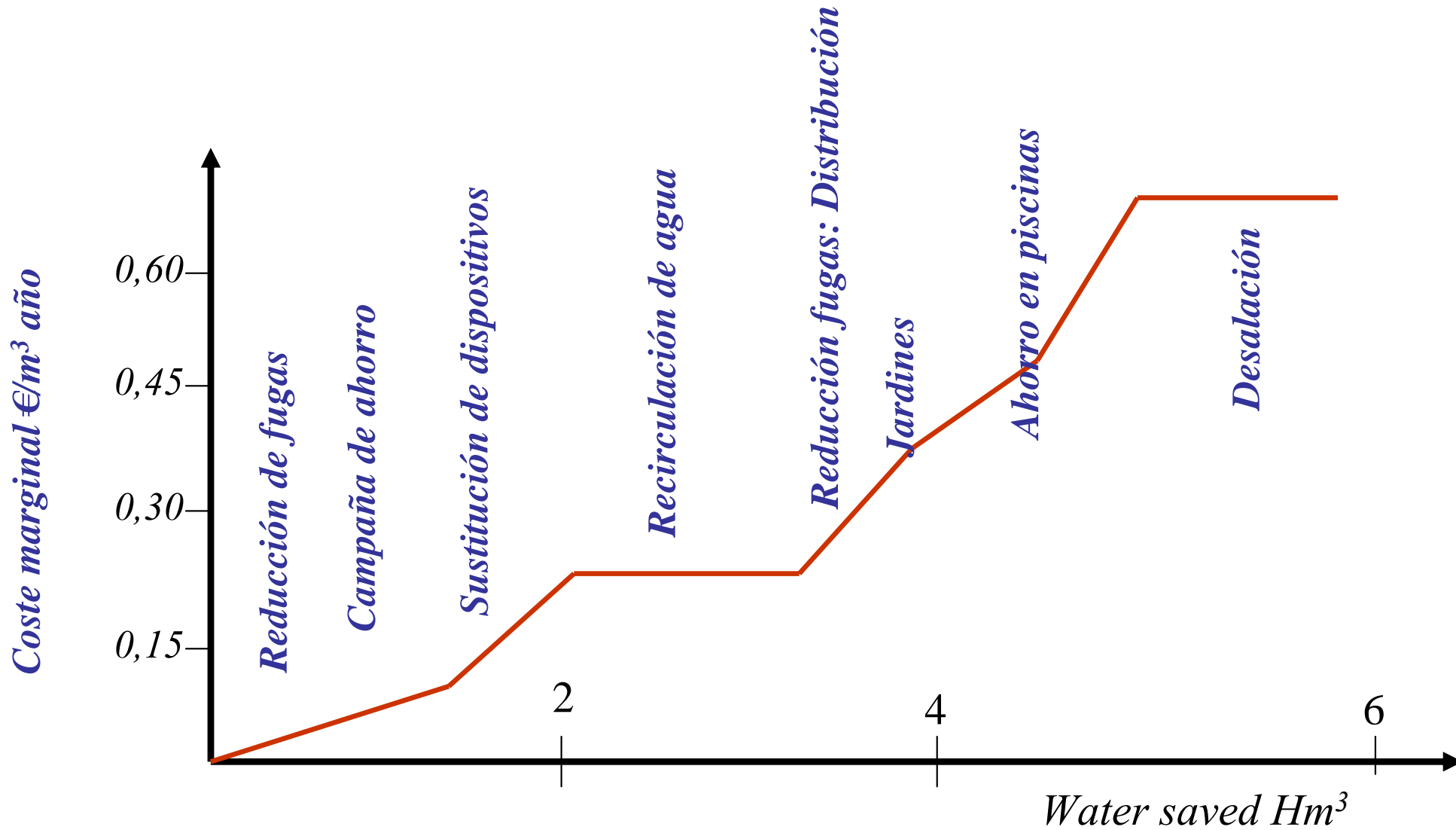
$$C = (C_w - \gamma_w)^{\alpha_w} C_{co}^{\alpha_{co}} \prod_{g=1}^6 C_g^{\alpha_g}$$

$g =$  Comercializables

$i =$  No comercializables

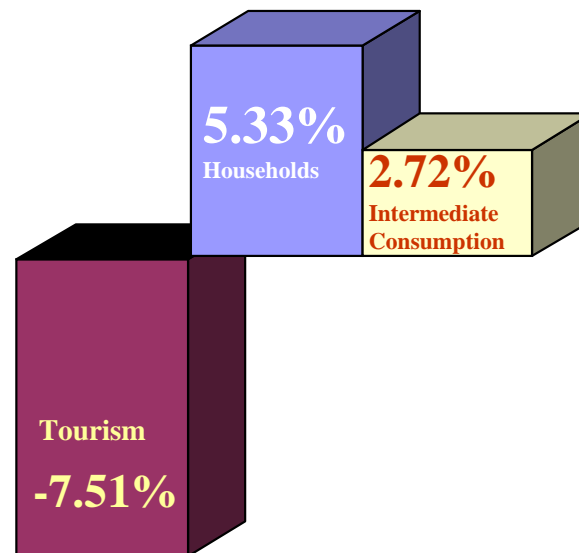


# Ilustración: Análisis Coste Eficacia de las medidas de ahorro de agua



**Ilustración :** Análisis de los efectos de un ahorro del 10% del agua a través de mejoras de eficiencia en el sector turístico.

### **Equilibrio General: variación en el consumo de agua**



Los ahorros de agua en un sector se compensan con aumentos en los demás. Las medidas de eficiencia no tienen efecto alguno en la reducción del consumo.

## *Conclusión Preliminar:*

Las estrategias de eficiencia no son equivalentes a políticas de ahorro o conservación de recursos naturales.

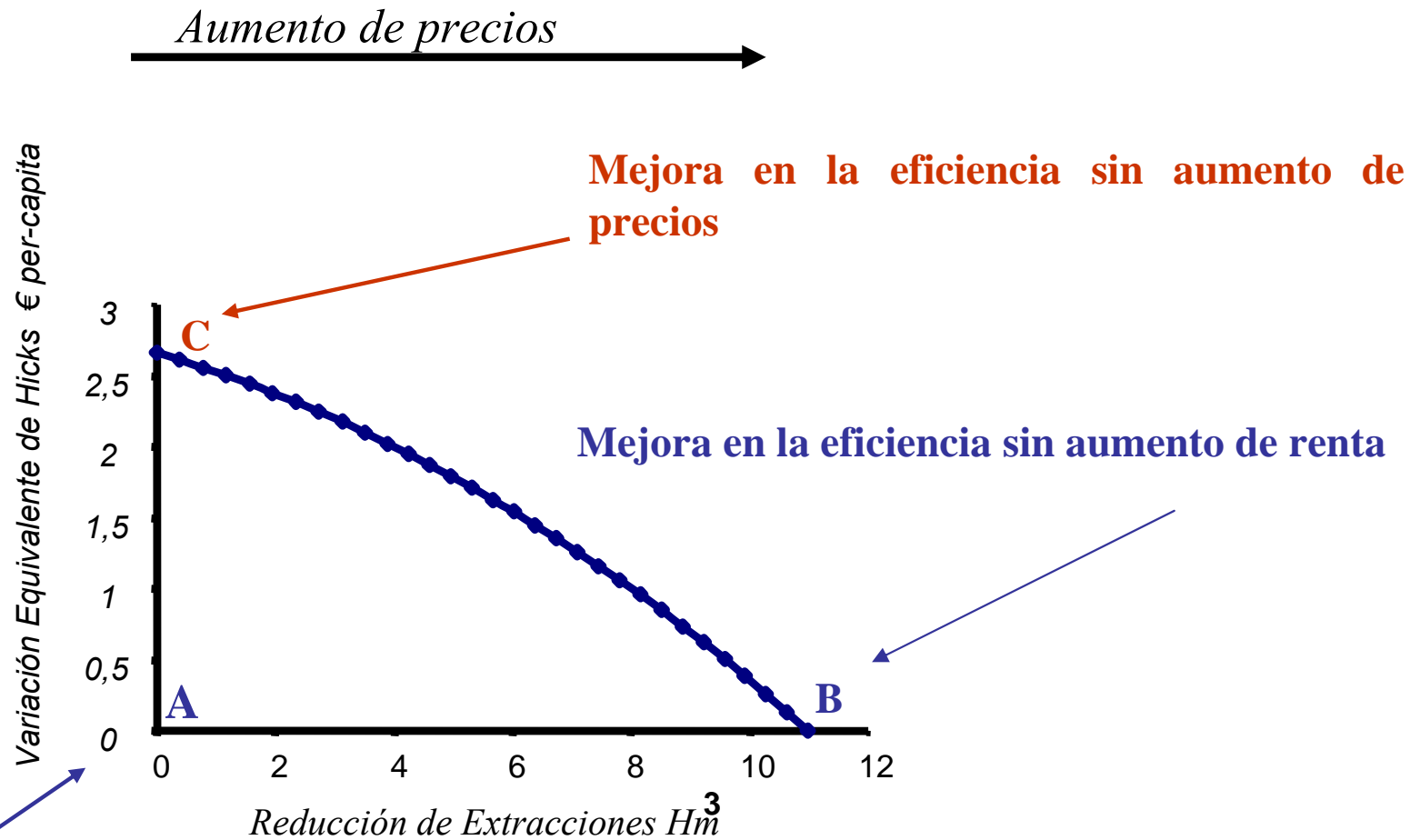
Las medidas de eficiencia son una oportunidad para reducir la escasez física.

La única forma de resolver el problema consiste en trasladar, al menos parcialmente los ahorros a la naturaleza.

## *Continuación: Existe un dilema de elección colectiva.*

¿Cómo distribuir los ahorros de recursos entre el presente y el futuro?

# Ilustración: Trade entre beneficios corrientes de mercado y conservación del recurso



**Escenario Base: sin mejora de eficiencia**

# Ganancias de eficiencia en la Agricultura Española

- El uso del agua en el regadío representa el 80% del consumo total de agua en España.
- El agua es el factor crítico de producción en la agricultura española.
- La eficiencia técnica es baja y se encuentra entre el 0.3 y el 0.5 en las diferentes cuencas hidrográficas.
- En el Levante español 7 de cada 10 pozos son ilegales.
- La escasez es creciente (crecimiento económico, expansión de regadíos, urbanización, turismo, etc.).
- La escasez creciente y la desigual distribución territorial del agua es una fuente de conflictos locales y regionales.
- Las principales oportunidades de ahorro de agua están en la agricultura .

# ALMERÍA UN CUARTO DE SIGLO



24 Jan 1974



30 Apr 2000



## CROPLAND ALMERIA, SPAIN

This pair of satellite images shows the impact of massive and rapid agricultural development in Almería Province along Spain's southern coast. In the earlier image, the landscape reflects rather typical rural agricultural land use. In the 2000 image, much of the same region—an area covering roughly 20 000 hectares (49 421 acres)—has been converted to inten-

sive greenhouse agriculture for the mass production of market produce. (Greenhouse-dominated land appears as whitish gray patches.) In order to address increasingly complex water needs throughout Spain, the government adopted the Spanish National Hydrological Plan (SNHP) in 2001. Initially, this water redistribution plan involved the construction of 118 dams and 22 water transfer projects that

would move water from parts of the country where it was relatively abundant to more arid regions. In 2004, the Spanish government announced it would begin exploring more environmentally friendly water-saving technologies, such as wastewater recycling and seawater desalination.

# Ejemplo: Baseline

Coste marginal ( $\text{€}/\text{m}^3$ )

Productividad marginal del agua

0,2

0,1

2.000

4.000

Precio ( $\text{€}/\text{m}^3$ )

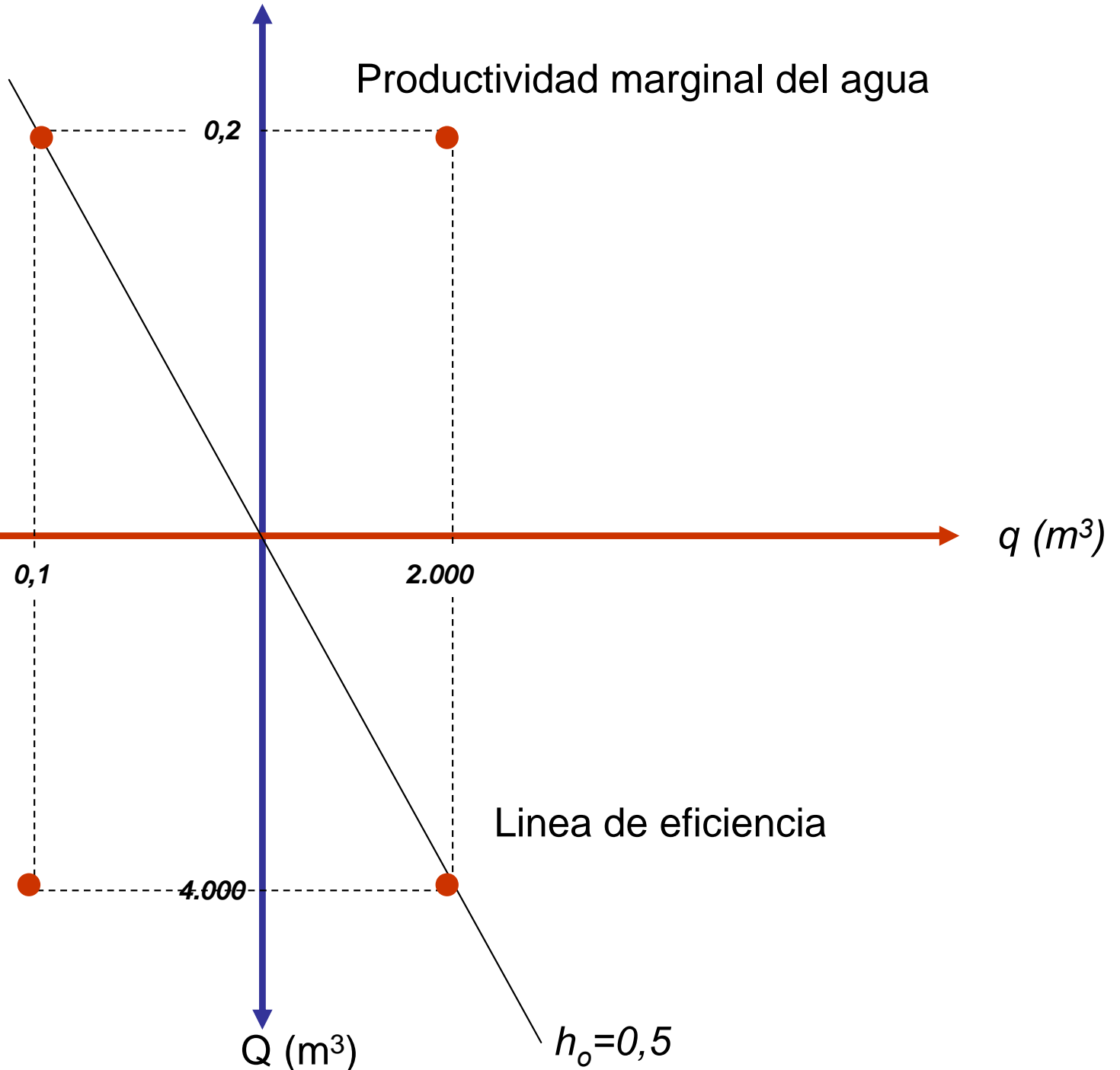
$q$  ( $\text{m}^3$ )

Demanda de agua

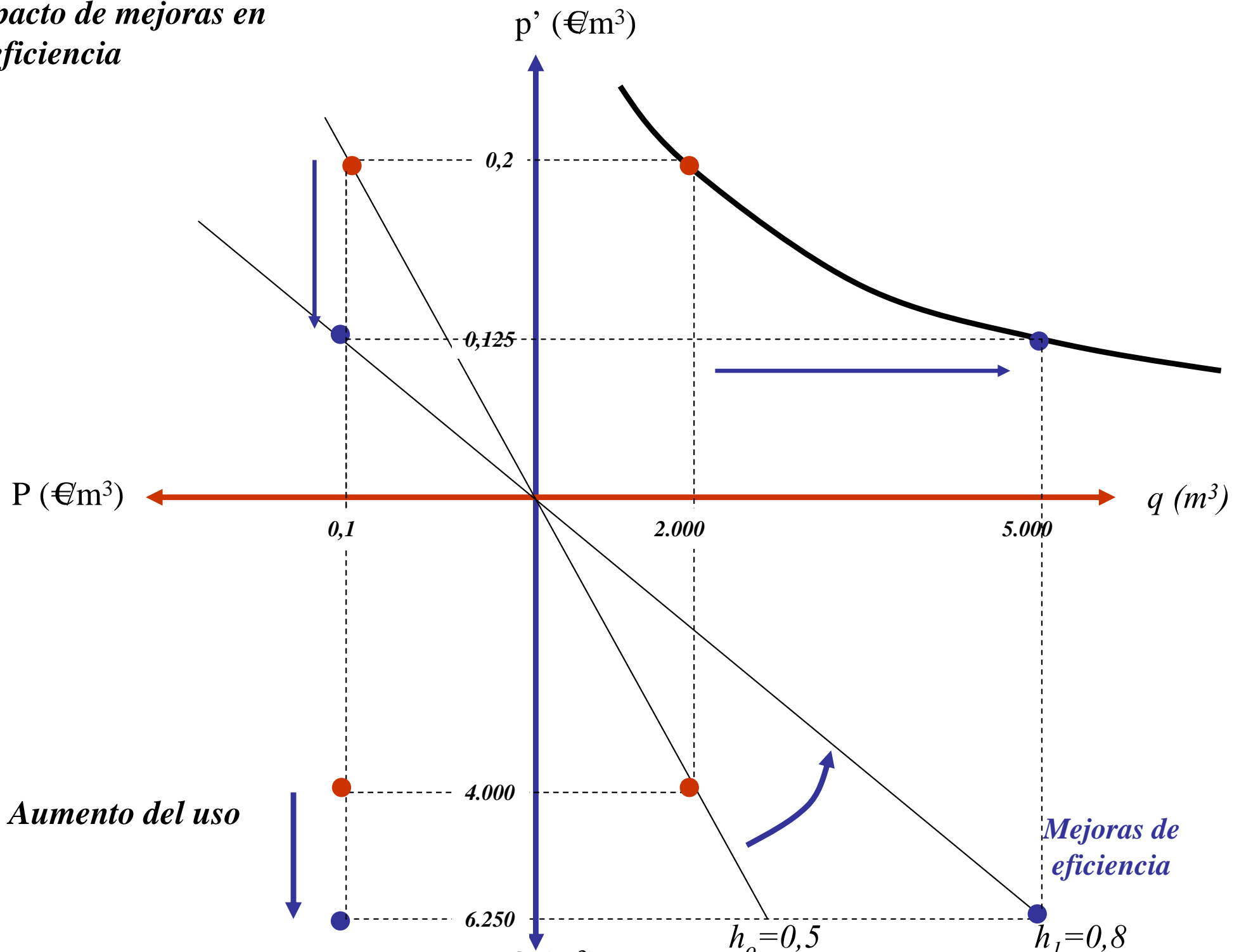
Linea de eficiencia

$Q$  ( $\text{m}^3$ )

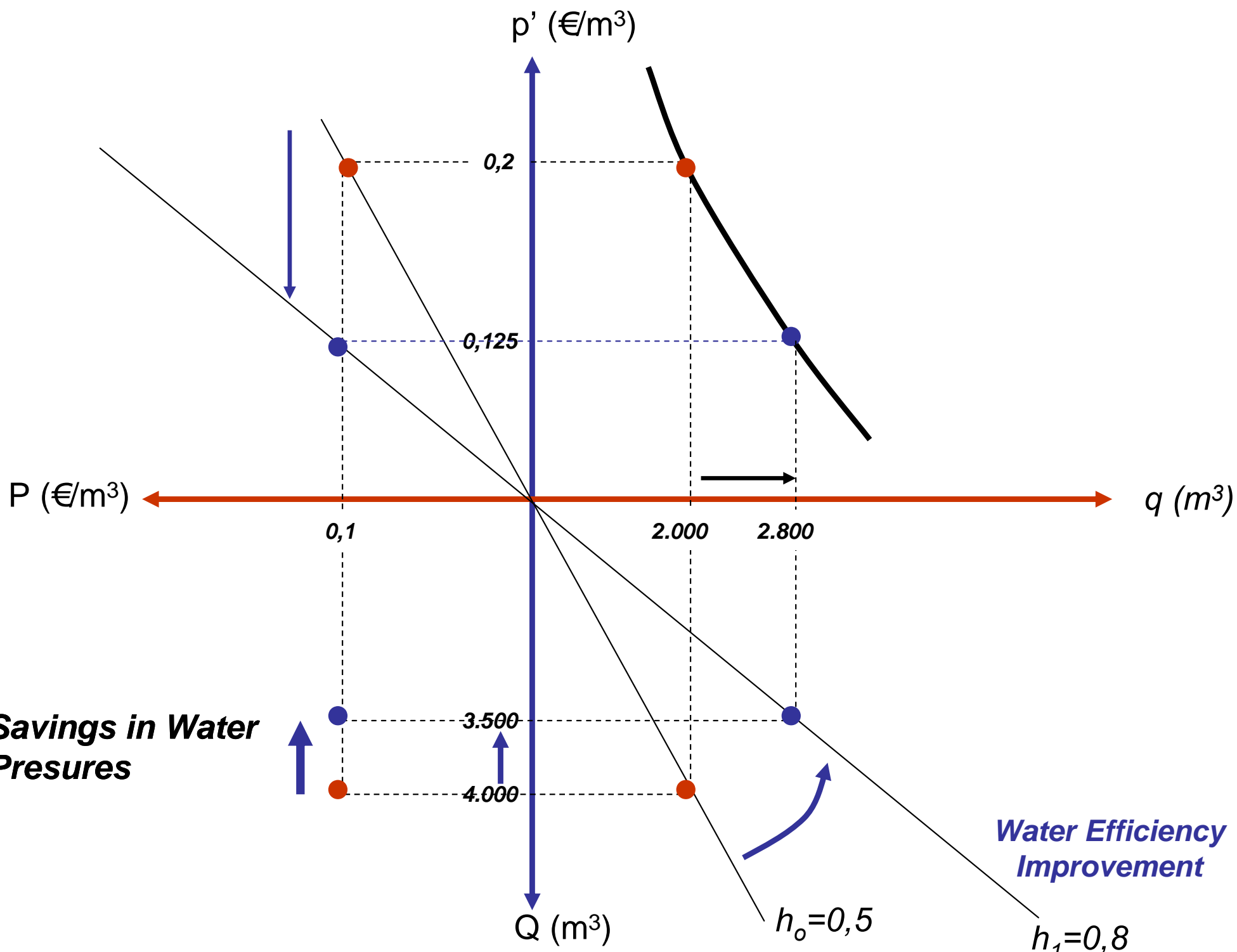
$h_o=0,5$

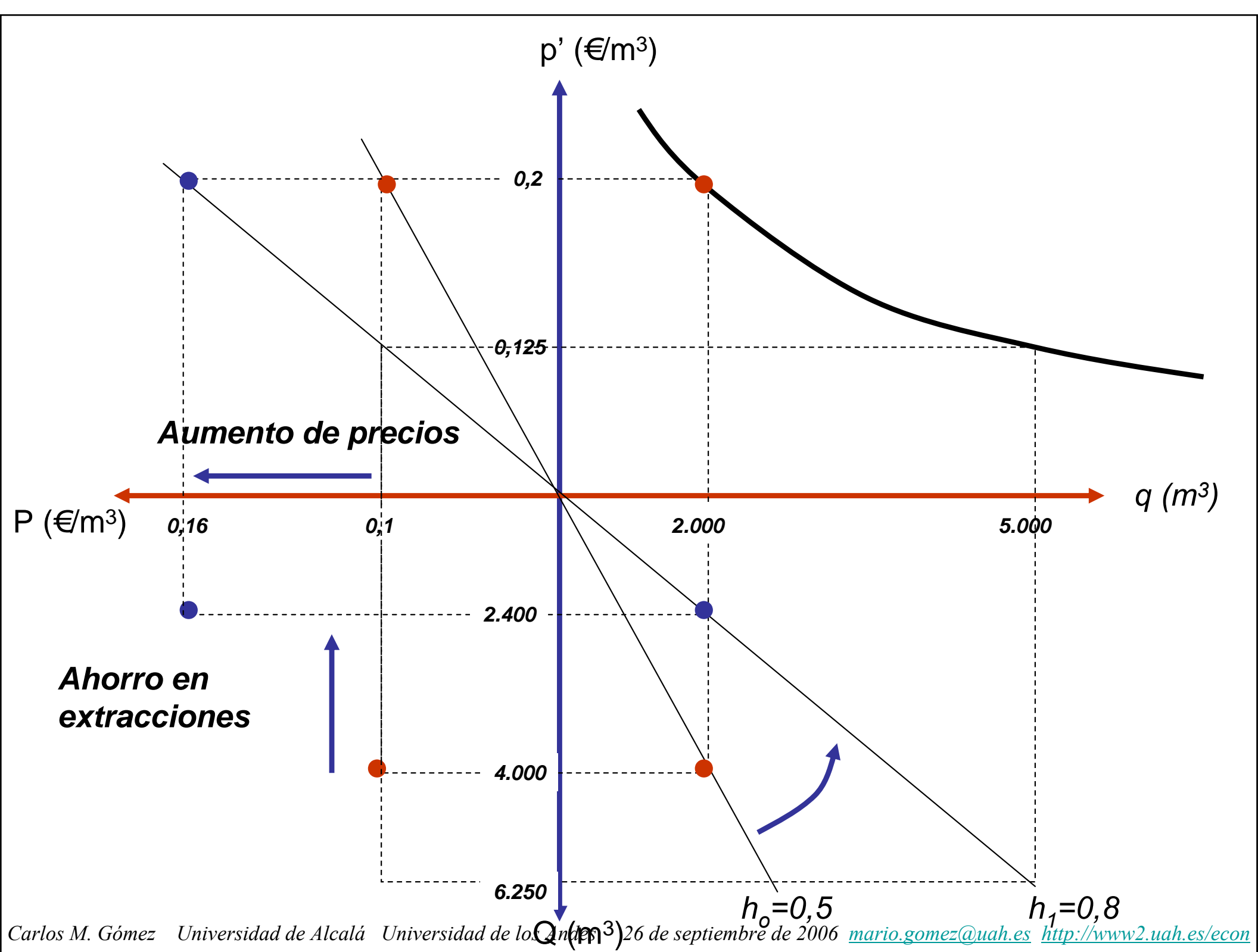


*Impacto de mejoras en la eficiencia*









# Conclusión

- Idem: Ahorrar agua no sirve siempre para consumir menos.
- Si la cantidad demandada aumenta, los precios deben aumentar para controlar el efecto Jevons.
- El efecto de las medidas de eficiencia depende críticamente de la elasticidad de la demanda de agua y esta depende de la productividad marginal del agua.
- Estimar la productividad marginal del agua es una tarea difícil.

# MOdelo de Simulación de las DEcisiones de los Reganes Españoles: OBJETIVOS

- Explicar, reproducir y analizar las decisiones corrientes de cultivo.
- Determinar los objetivos relevantes para un agricultor.
- Identificar y evaluar las restricciones relevantes de las decisiones de los agricultores: vocación del suelo, disponibilidad de factores, restricciones agronómicas, institucionales, etc.
- “Predecir” como reacciona un agricultor frente a cambios en la eficiencia técnica, los precios, los subsidios, etc.

# Modelo Básico

$$\text{Maximizar } U(x)$$
$$x_i$$

*Sujeto a:*

$$\sum_i \omega_i x_i \leq W$$

$$\sum_i x_i \leq T$$

$$\sum_i \gamma_i x_i = 0 \quad | \quad \gamma_i \in \{0,1\}$$

$$AX \leq b \quad | \quad A \in \mathbb{R}^{m \times n}; \quad X \in \mathbb{R}^n$$

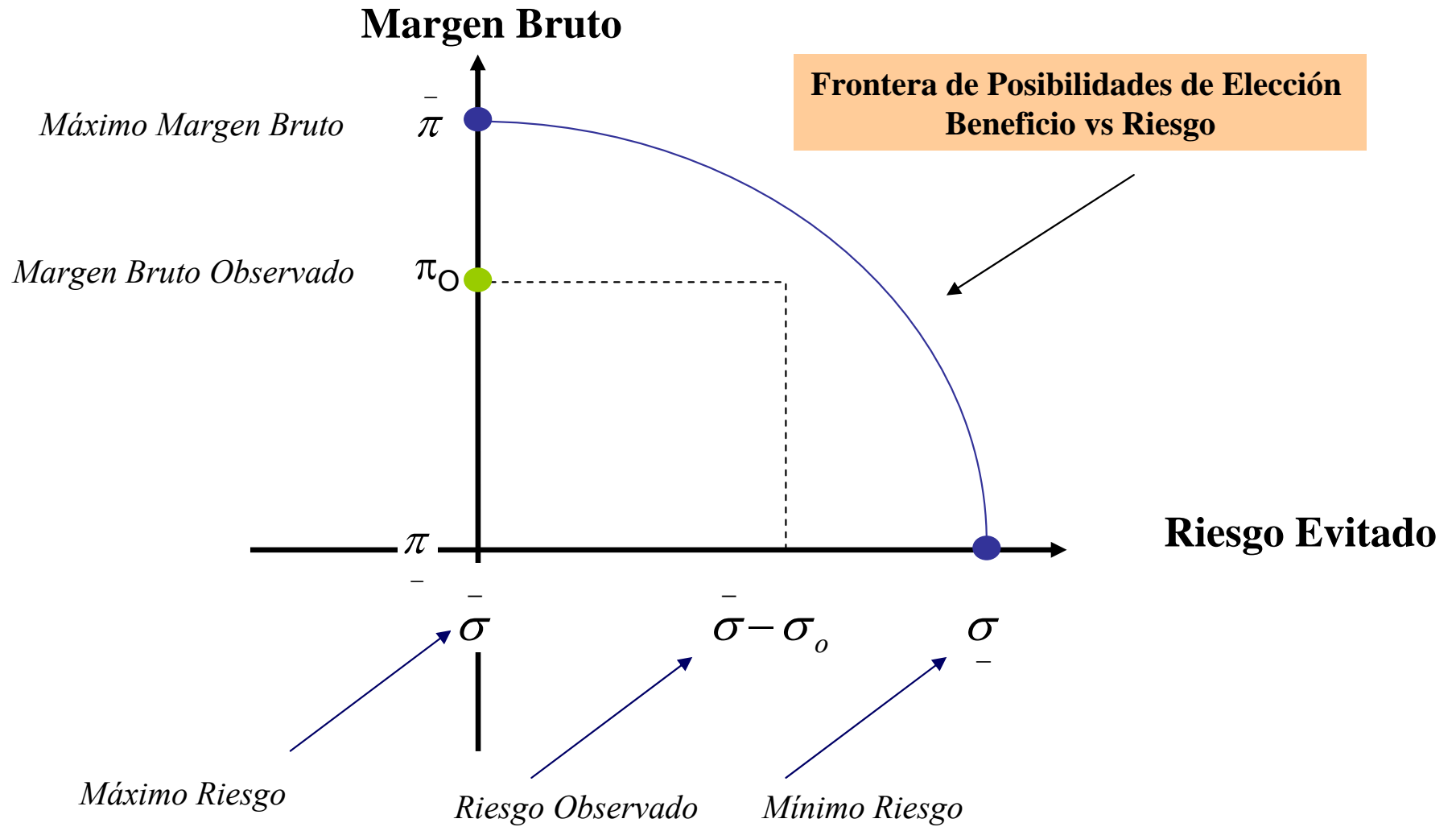
$$\mu_i x_i \leq (1 + \phi_i) x_i^o \quad | \quad \mu_i \in \{0,1\}; \quad 0 \leq \phi_i \leq 1$$

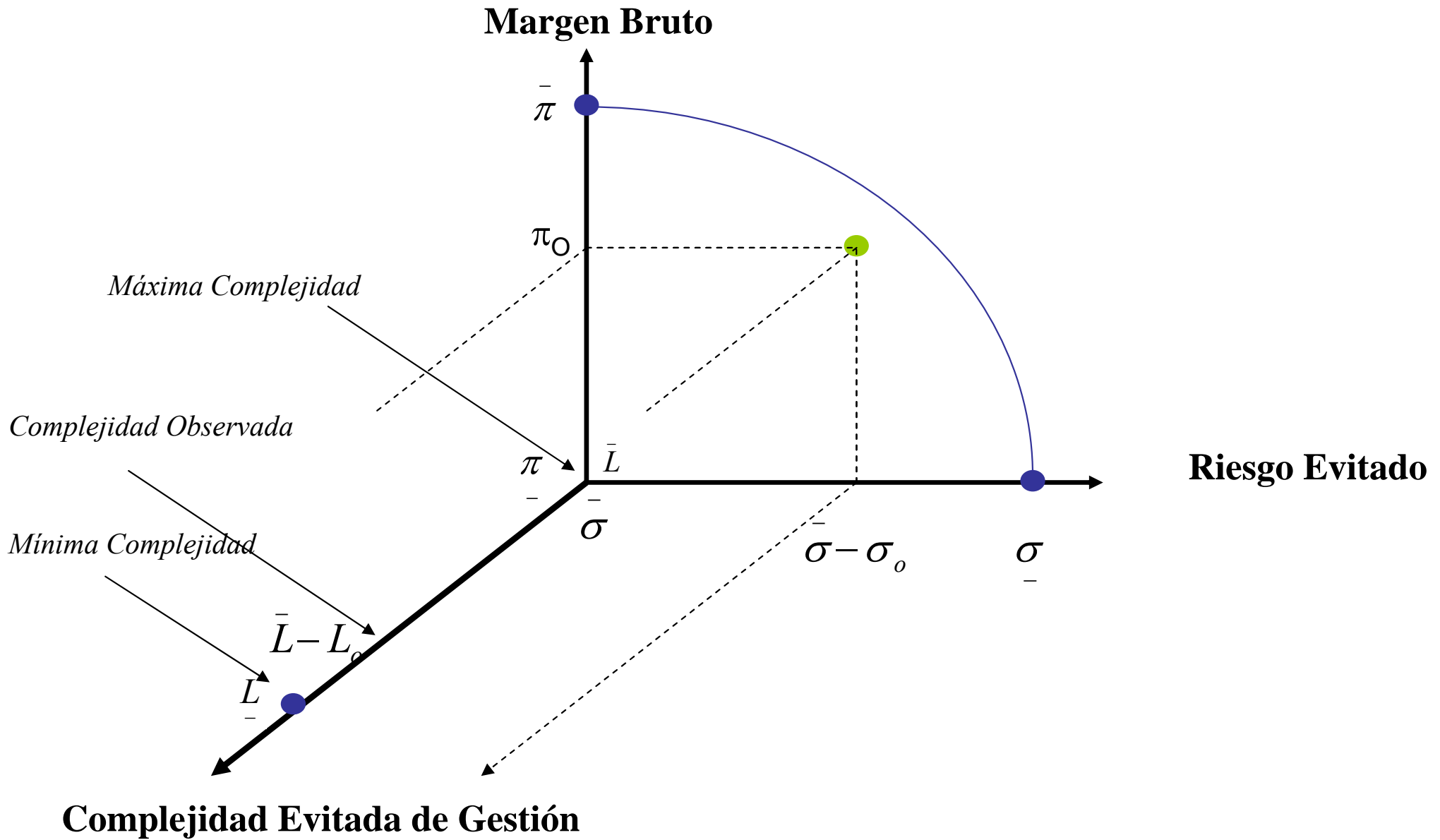
$$\eta_i x_i \geq (1 - \beta_i) x_i^o \quad | \quad \eta_i \in \{0,1\}; \quad 0 \leq \beta_i \leq 1$$

$$\mu_i x_i \geq (1 - \phi_i) x_i^o \quad | \quad \mu_i \in \{0,1\}; \quad 0 \leq \phi_i \leq 1$$

$$\mu_i x_i \leq (1 + \phi_i) x_i^o \quad | \quad \mu_i \in \{0,1\}; \quad 0 \leq \phi_i \leq 1$$

- Disponibilidad de Agua.
- Disponibilidad de Suelo.
- Vocación agrícola.
- Restricciones Agronómicas
- Restricciones PAC.
- Cultivos Permanentes, límite inferior.
- Cultivos Permanentes, límite superior.

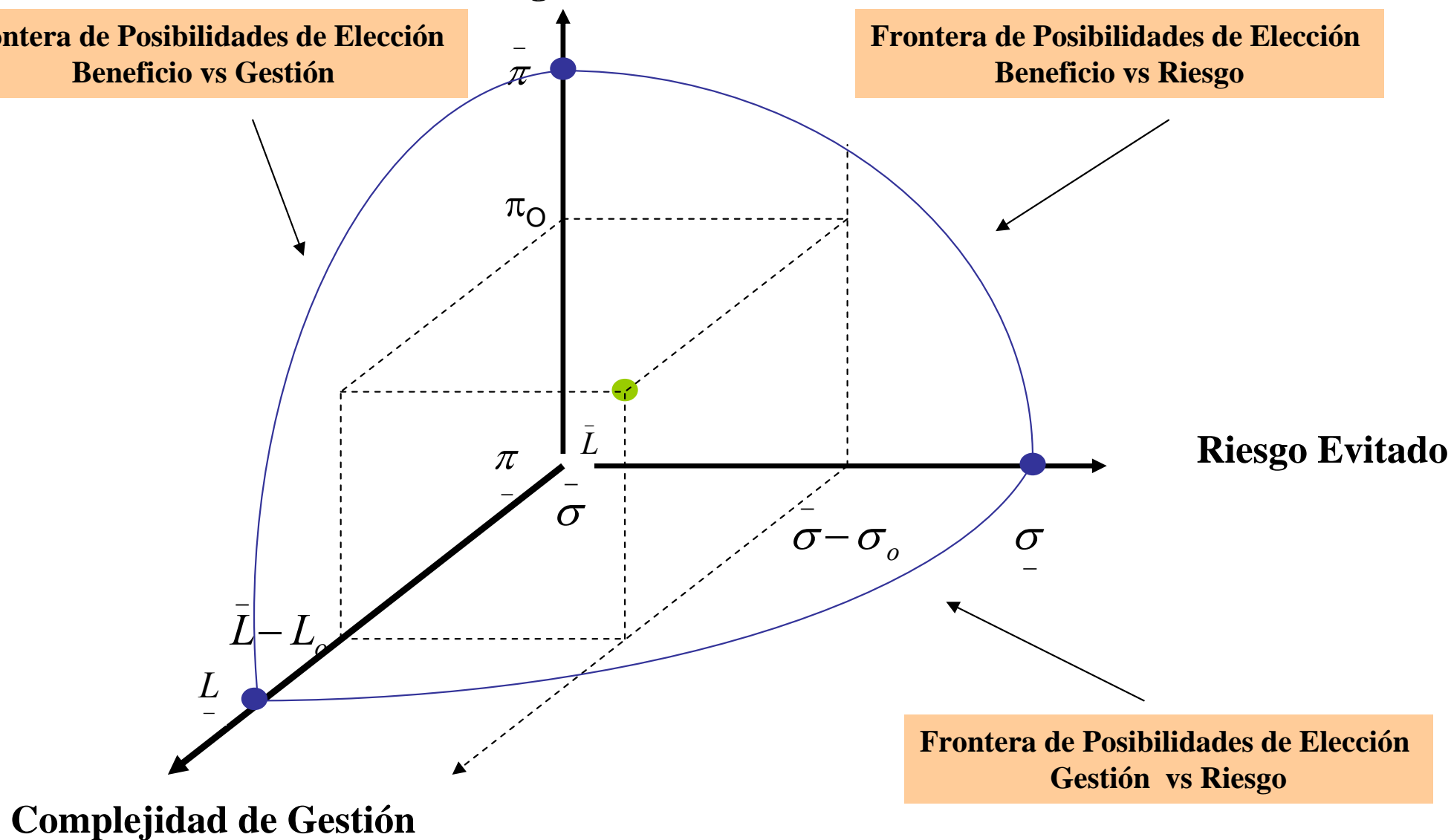




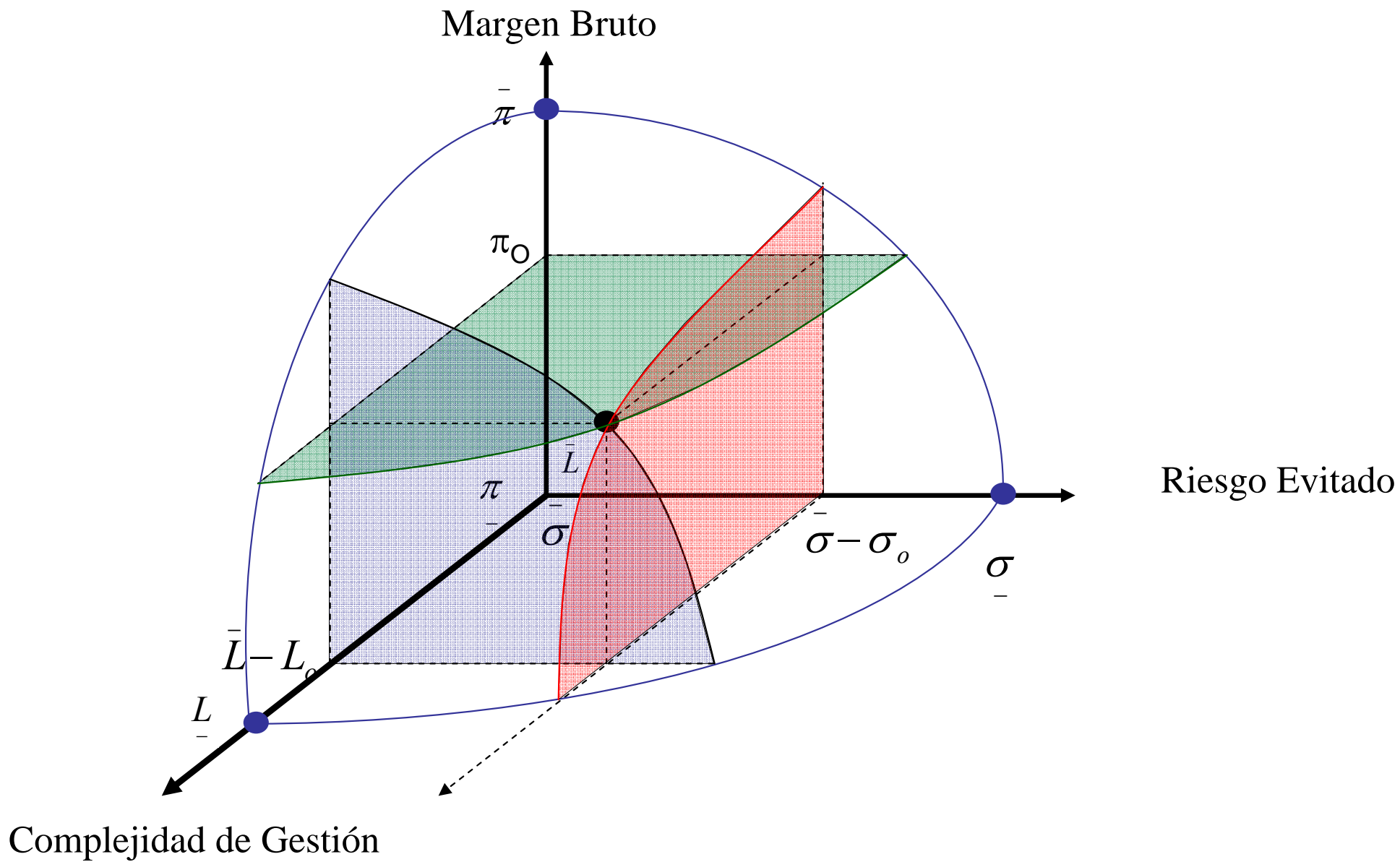
# Margen Bruto

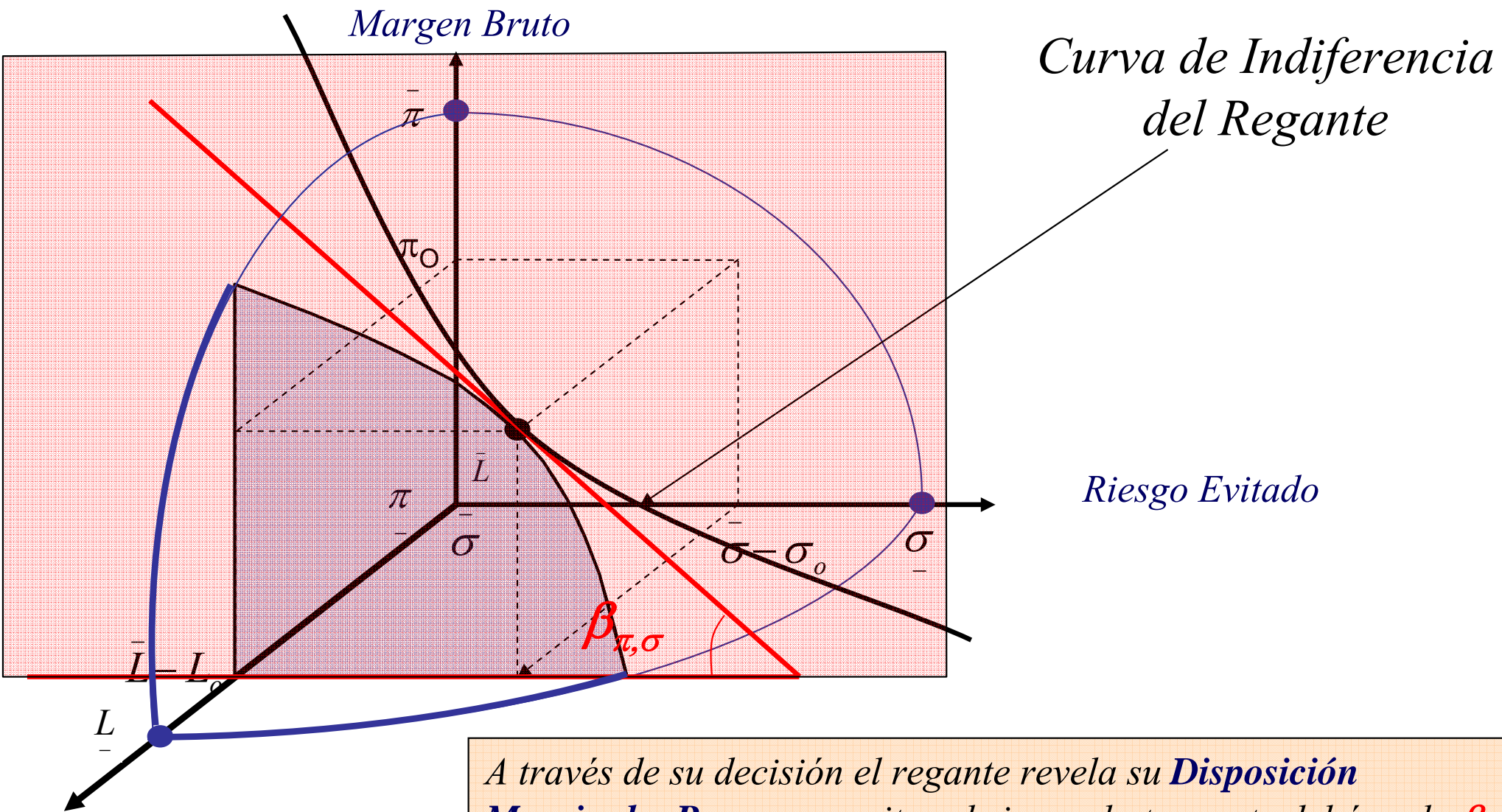
Frontera de Posibilidades de Elección  
Beneficio vs Gestión

Frontera de Posibilidades de Elección  
Beneficio vs Riesgo



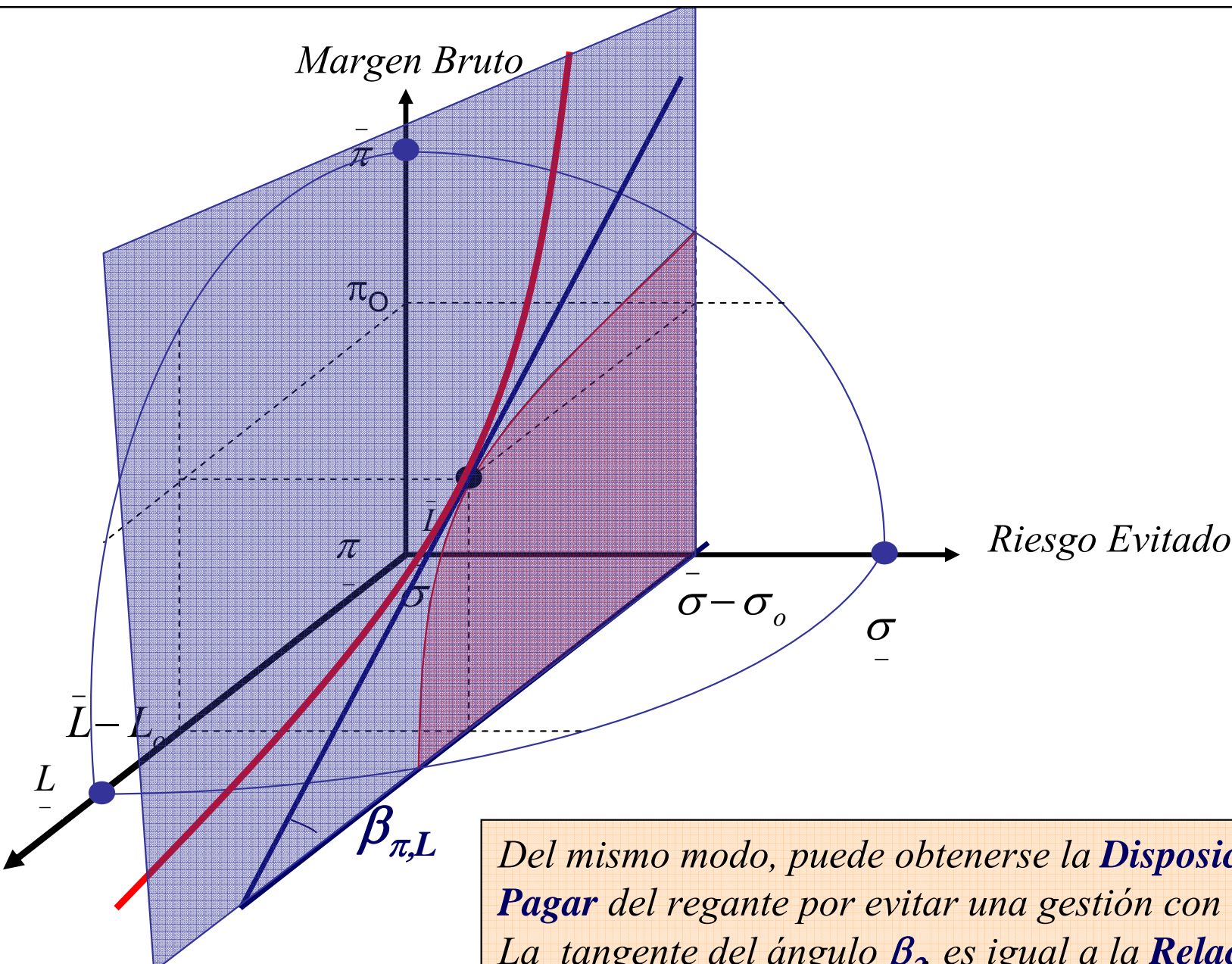






Complejidad de Gestión

A través de su decisión el regante revela su **Disposición Marginal a Pagar** por evitar el riesgo, la tangente del ángulo  $\beta_{\pi, \sigma}$ , es igual a la **Relación Marginal de Transformación entre el margen bruto y el riesgo** (de acuerdo con la Frontera de posibilidades de elección) y también a la **Relación marginal de Sustitución** entre esos dos atributos (de acuerdo con las preferencias implícitas del regante).



Del mismo modo, puede obtenerse la **Disposición Marginal a Pagar** del regante por evitar una gestión con mayor complejidad. La tangente del ángulo  $\beta_2$  es igual a la **Relación Marginal de Transformación entre el margen bruto y la complejidad de gestión**  $\gamma$ , en la solución observada, también es igual a la **Relación marginal de Sustitución** entre esos dos atributos.



## Decisiones de Cultivo

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$$

*n Superficie de cada cultivo en secano o regadío por Municipio.*

### Objetivos Potenciales del Agricultor:

**Maximizar el beneficio:** (*hacer máximo el margen bruto estándar de una decisión*)

$$\pi_j = \frac{1}{X_j} \sum_{i=1}^n x_{ij} \pi_{ij}$$

**Asumir el menos riesgo posible:** (*minimizar la desviación típica del margen neto estándar esperado*)

$$\sigma = [x^T V C V x]^{1/2}$$

**Conseguir lo anterior con las menores complicaciones posibles:**

*Minimizando la Mano de Obra Total:*  $L_j = \frac{1}{X_j} \sum_{i=1}^n x_{ij} l_{ij}$

*Contratando poco trabajo ajeno:*  $L^A_j = \frac{1}{X_j} \sum_{i=1}^n x_{ij} l^A_{ij}$

*Con escasos costes directos como proporción de los costes totales:*  $C^D_j = \frac{\frac{1}{X_j} \sum_{i=1}^n x_{ij} c^D_{ij}}{C_j}$

# Integración de una Función de Utilidad Cobb-Douglas

$$U(\pi, \sigma_e, L_e) = \pi^{\alpha_1} \sigma_e^{\alpha_2} L_e^{\alpha_3} \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$$

$$RMS_{\pi, \sigma_e} = -\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \frac{\pi}{\sigma_e} = -\beta_1$$

$$RMS_{\pi, L_e} = -\frac{\alpha_3}{\alpha_1} \frac{\pi}{L_e} = -\beta_2$$

$$RMS_{\sigma_e, L_e} = -\frac{\alpha_3}{\alpha_2} \frac{\sigma_e}{L_e} = -\beta_3$$

Con la solución observada y las Relaciones Marginales de Sustitución que le corresponden se pueden obtener los parámetros de la función de utilidad

$$\alpha_1 = \frac{1}{\left(1 + \beta_1 \frac{\sigma_e}{\pi} + \beta_2 \frac{L_e}{\pi}\right)}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\beta_1} \frac{\pi}{\sigma_e} + \beta_3 \frac{L_e}{\sigma_e}\right)}$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\beta_2} \frac{\pi}{L_e} + \frac{1}{\beta_3} \frac{\sigma_e}{L_e}\right)}$$

# El Regadío en la Campiña Baja

	TOTAL		
	Agenda 2000	Desv. Parcial	Desv. Total
Suelo (Has)	58,253.0	58,253.0	58,253.0
Agua (m3) En parcela	311,189,520.7	297,519,259.2	308,337,452.0
MOA(jornales)	420,405.3	395,807.3	440,673.3
MOT(jornales)	800,279.1	770,174.2	1,065,986.8
Nitrógeno (Kgs)	7,777,542.3	8,225,140.2	8,229,486.0
P2O5 (Kgs)	3,214,259.9	3,298,455.0	3,316,132.6
K2O (Kgs)	2,612,055.5	2,768,300.8	2,743,574.2
Valor Prod(€)	148,996,709.0	147,290,507.2	174,152,086.9
Subv.(€)	32,067,485.9	8,527,363.4	0.0
Ingreso(€)	181,064,194.9	155,817,870.6	174,152,086.9
CD(€)	29,222,318.2	27,322,865.2	38,527,057.1
CM(€)	15,960,026.2	13,782,568.0	22,971,891.5
CMOA(€)	26,695,108.5	26,395,221.6	28,257,523.8
CosteAplicAgua(€)	2,917,938.6	2,789,756.3	2,891,195.6
MBV(€)	106,268,803.4	85,527,459.6	81,504,418.9
MBV sin S(€)	74,201,317.5	77,000,096.2	81,504,418.9



# Ejemplo: Revelación de Preferencias en la Campaña Cordobesa

$$\alpha_1 = 40.77\%$$

$$\alpha_2 = 44.83\%$$

$$\alpha_3 = 14.89\%$$

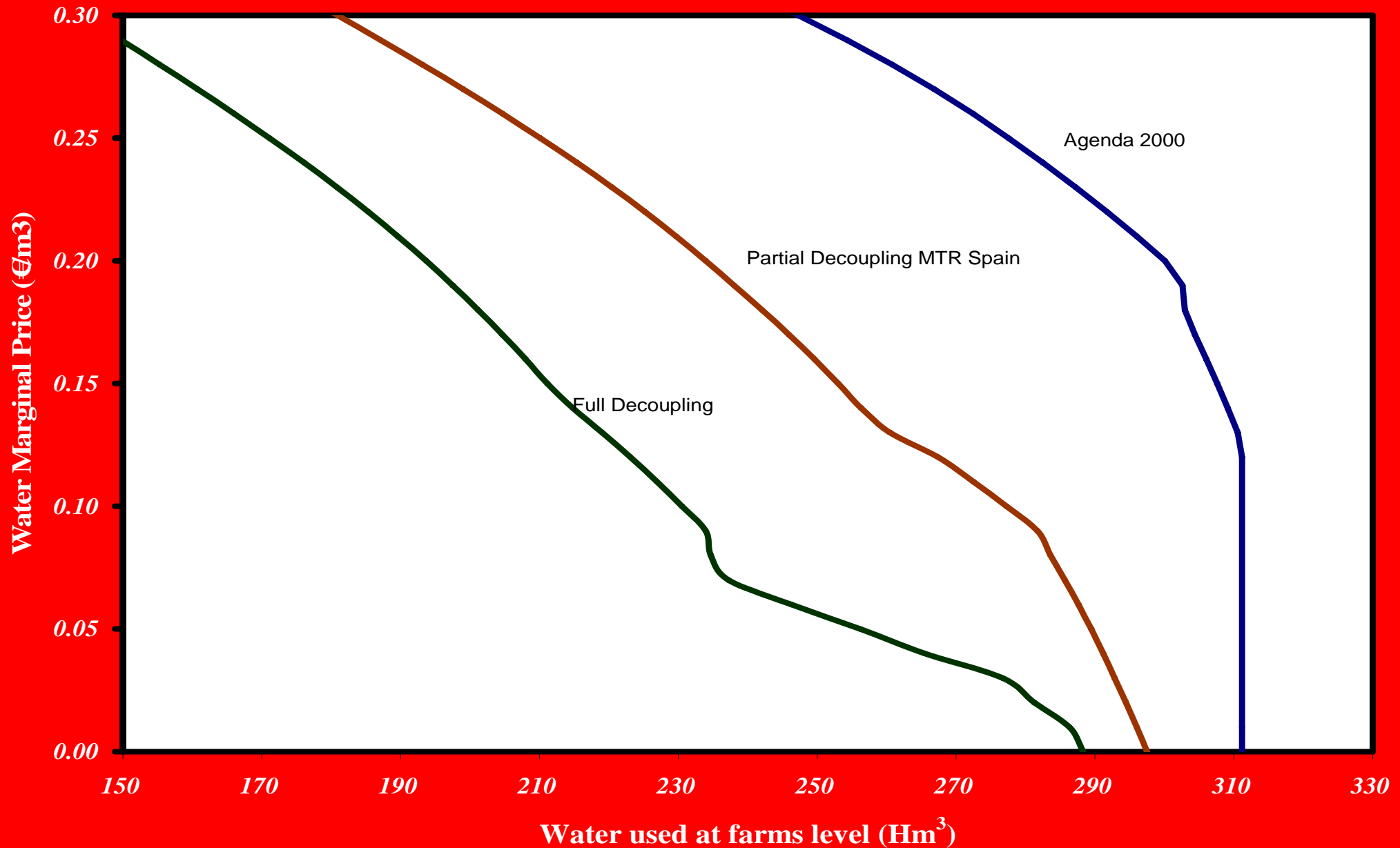
$$\varepsilon_x = 4.18\%$$

$$\varepsilon_z = 3.82\%$$

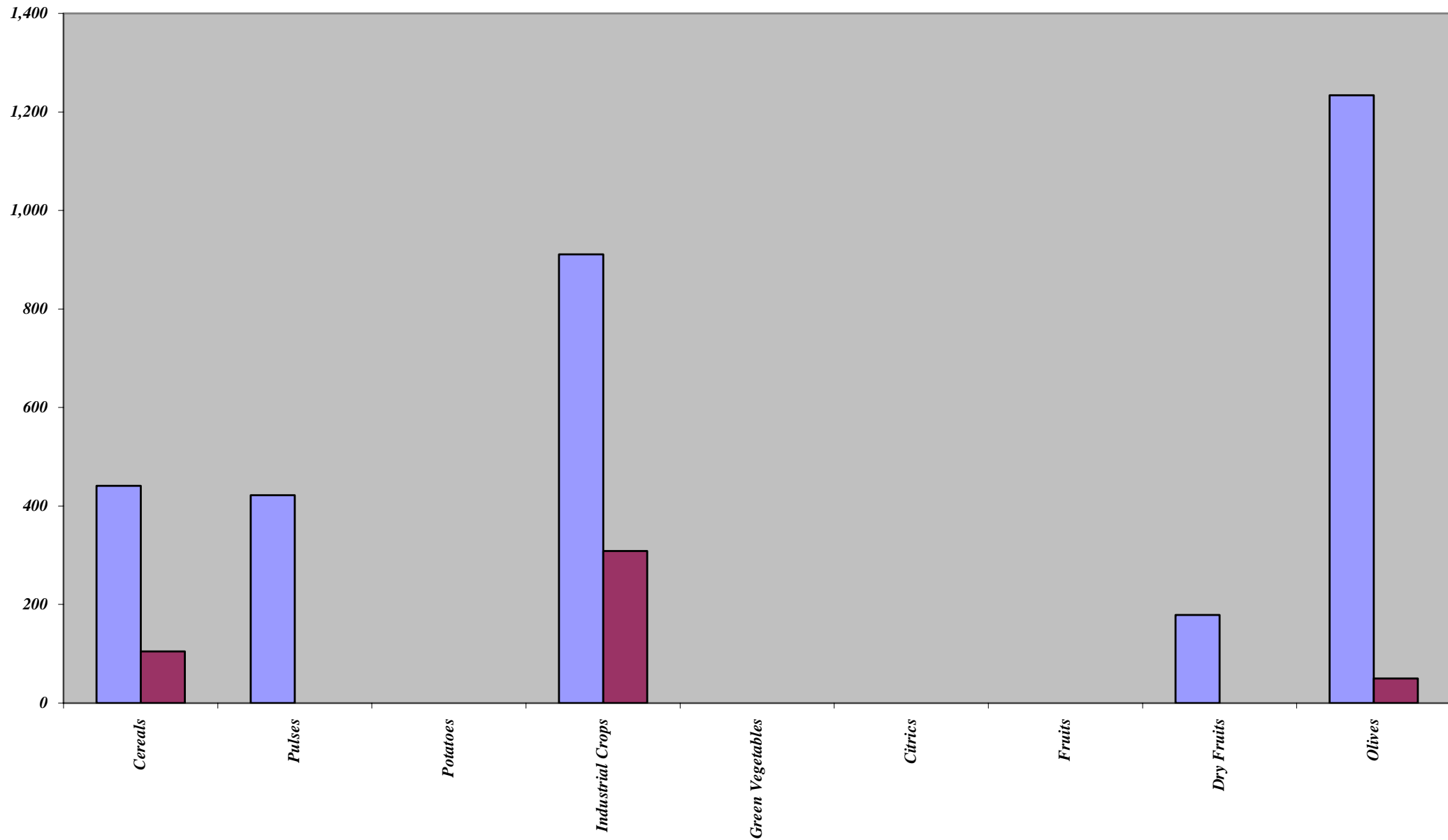
$$\varepsilon_y = 3.07\%$$

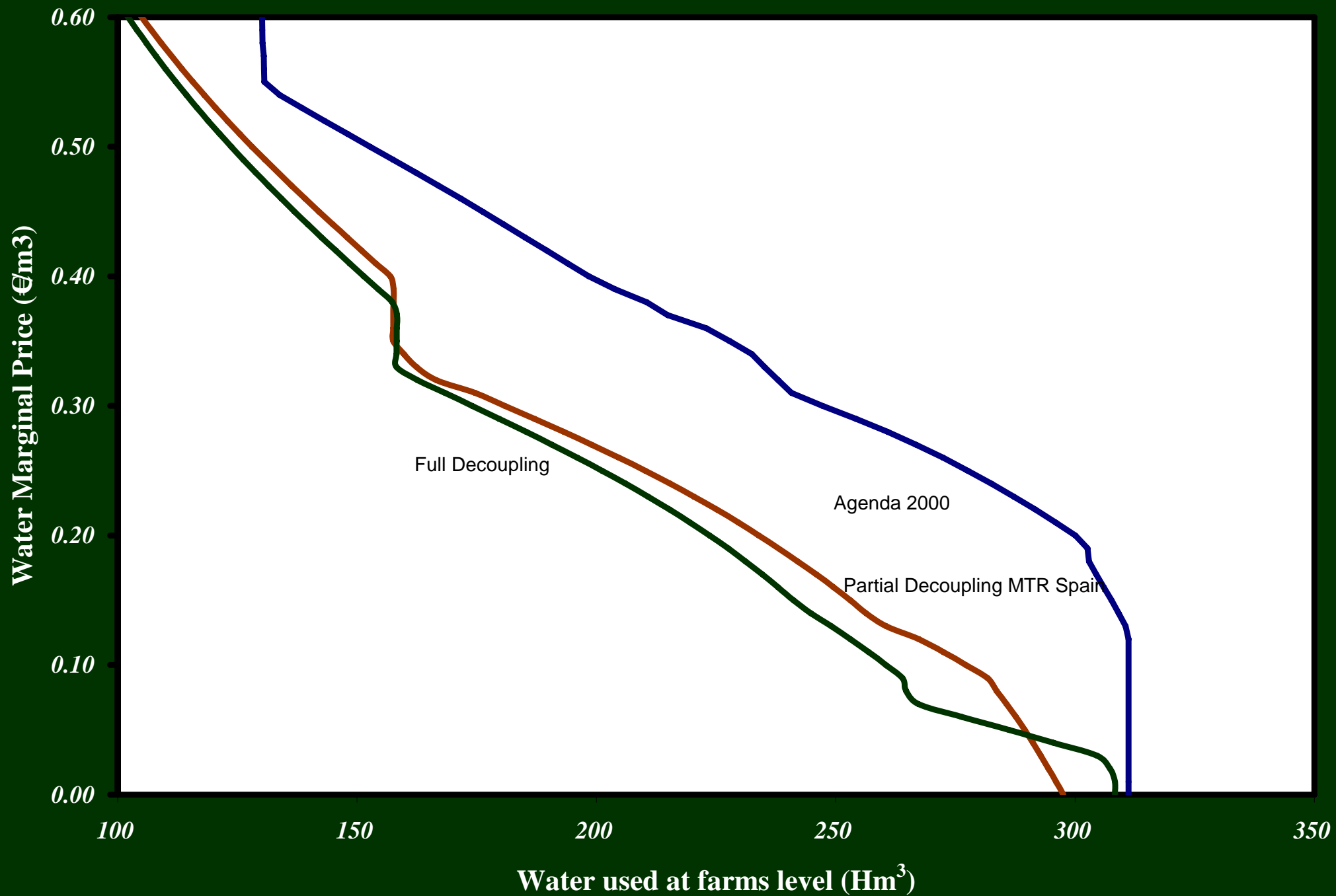
- Participación del Margen de Beneficios.
- Participación de la aversión al riesgo.
- Participación de la aversión a contratar trabajadores.
  
- Error sobre decisiones de cultivo.
- Error sobre atributos de la función de utilidad.
- Error sobre la Frontera de posibilidades de elección de la solución observada

# Productividad Marginal del Agua en la Campiña Cordobesa

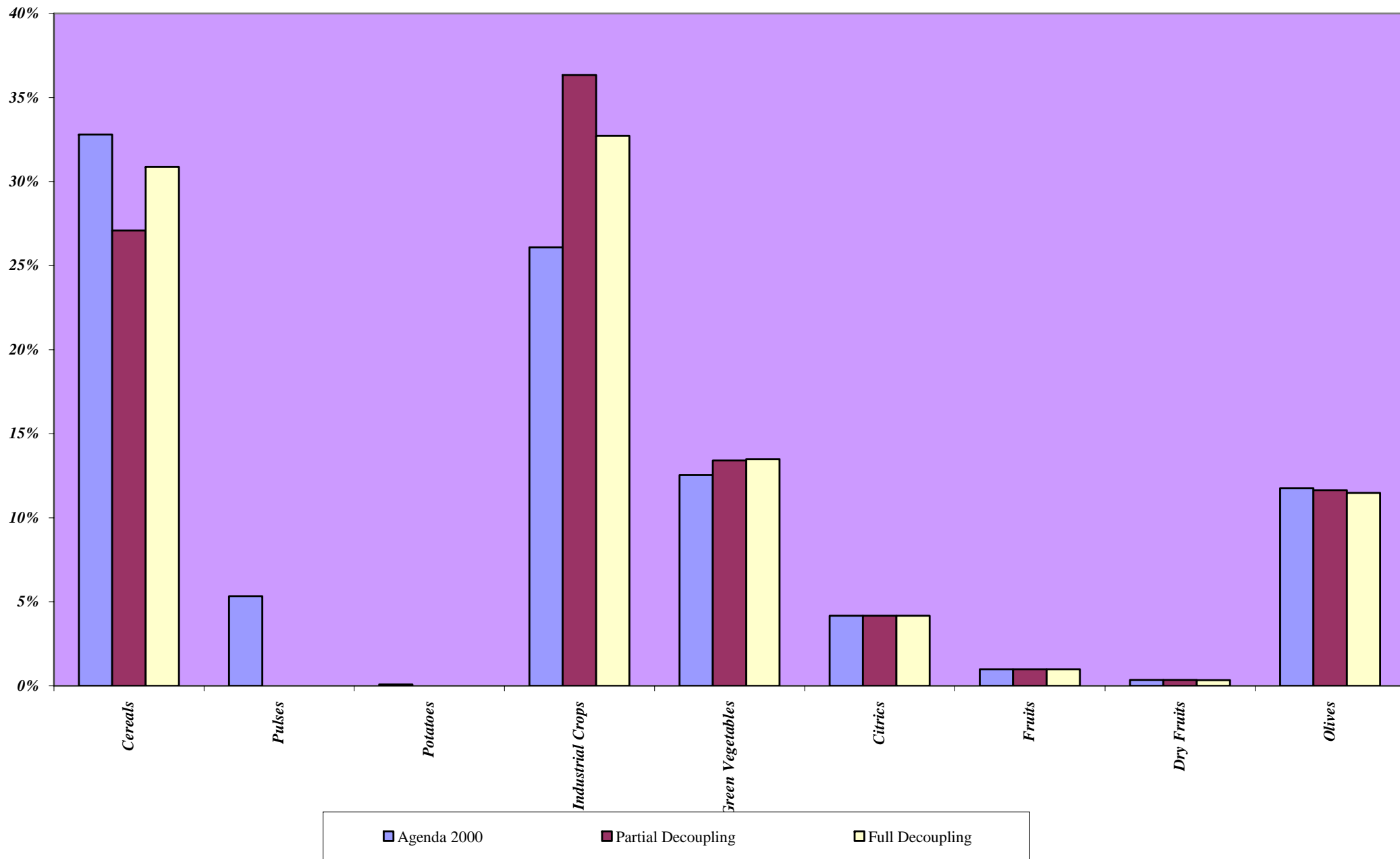


# Production Linked Subsidies in the Campiña Baja Irrigation District

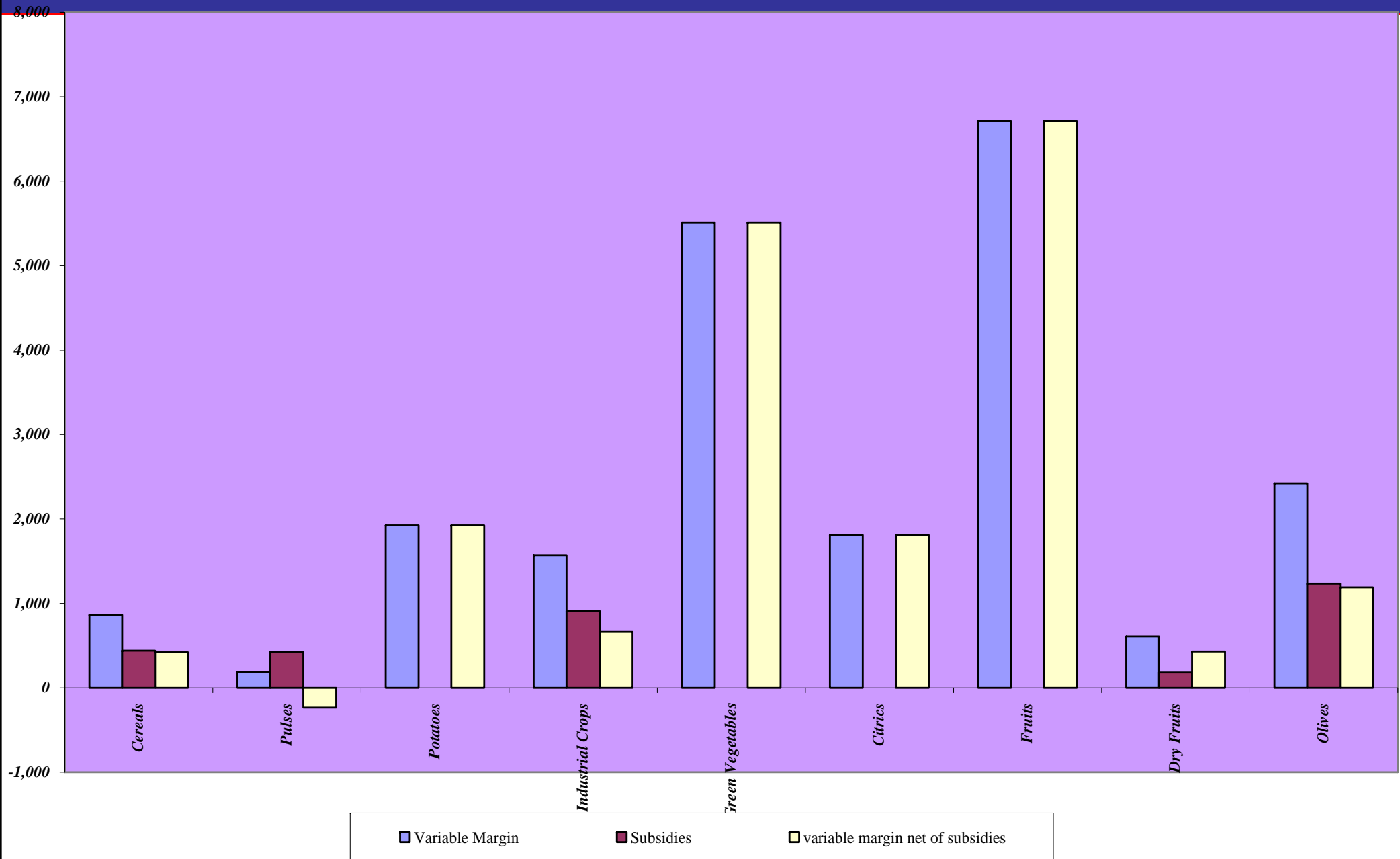




# Land Use in Three CAP Scenarios



# Net Benefits Of Crops: Baseline



# Conclusiones:

- El método arriba descrito permite revelar las preferencias de los regantes de un modo compatible con un modelo económico subyacente en el que pueden explicarse las decisiones de los regantes como resultados racionales y óptimos.
- Este procedimiento no exige supuestos restrictivos sobre las preferencias de los regantes (ni utilidad cardinal, ni linealidad,...).
- El método es independiente del número de atributos que se incluyan en la función de utilidad. El único requisito es que la frontera de posibilidades de elección sea convexa en el conjunto de atributos elegidos: es decir, que mejorar en un atributo tenga efectivamente un coste de oportunidad sobre los demás (para que un atributo sea relevante no debe ser gratis).
- Una vez obtenida la función de utilidad se consigue un modelo que reproduce la decisión observada y que permite simular cualquier escenario que se considere relevante y que afecte a los costes de producción, la disponibilidad de recursos, los precios de los productos, la eficiencia o el marco institucional del sector).

# El Sistema de Información

## Variables, Índices e Indicadores



# Información de Base

## **Rendimientos (Kg/Ha)**

*Promedios Anuales a Nivel Provincial  
MAPA Anuario de Estadística Agroalimentaria*

## **Precios (€/Kg)**

*Promedios Anuales a Nivel Nacional y Series Semanales.  
MAPA. Anuario de Estadística Agroalimentaria.*

## **Subvenciones (€/Kg; €/Ha....)**

*Orientaciones Técnico Económicas de la Producción.*

## **Costes Directos (€/Kg por tipo de cultivo)**

*Incluye: Plantas y semillas, fertilizantes, fitosanitarios, otras materias primas. Por Comunidades Autónomas.*

*Fuente: MAPA, Resultados Técnicos de las Explotaciones (MAPA, ITG y AMOPA).*

## **Costes del Agua (€/Ha....).**

*Estimación por Comarca Agraria en función del origen del agua.  
Estudio Tragsatec para el MAPA*

## **Costes de Aplicación del Riego (€/Ha)**

*Estimación por Comarca en Función de la técnica de riego. Fuente: Camacho (2003) Máquinas de Riego.*

## *Indice 1: Beneficio Financiero Esperado.*

*Indicador: Margen Variable Esperado por hectárea  $\pi(x)$ .*

**La decisión del agricultor consiste en una asignación de superficies de cultivo a un conjunto de cultivos:**

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$$

**El Márgen Bruto Estándar Esperado de un cultivo es proporcional al número de hectáreas que se destinen a ese cultivo.**

**Supuesto: Tecnología de coeficientes fijos, rendimientos constantes de escala:**

$$P_i = \pi_i x_i$$

**El Márgen Bruto Estándar Esperado de una Asignación es Igual a:**

$$\pi(x) = \frac{\sum_i \pi_i x_i}{\sum_i x_i}$$

# Cálculo del Margen Variable Esperado $\pi_i$

**Rendimiento Esperado (Kg/Ha)**

*Promedios Anuales a Nivel Provincial MAPA Anuario de Estadística Agroalimentaria*

X

**Precio Esperado (€/Kg)**

*Promedios Anuales a Nivel Nacional y Series Semanales. MAPA. Anuario de Estadística Agroalimentaria.*

=

**Valor Esperado de la Producción**

+

**Subvenciones (€/Kg; €/Ha....)**

*Orientaciones Técnico Económicas de la Producción.*

=

**Ingreso Total**

-

**Coste Variable Total**

=

**Márgen Variable**

**Coste Variable del Agua (€/Ha....).**

*Solo en caso de tarifa volumétrica*

+

**Costes Directos (€/Kg por tipo de cultivo\* Kgs/Ha)**

*Incluye: Plantas y semillas, fertilizantes, fitosanitarios, otras materias primas. Por Comunidades Autónomas.*

*Fuente: MAPA, Resultados Técnicos de las Explotaciones (MAPA, ITG y AMOPA).*

+

**Coste Variable de Aplicación del Riego**

*Estimación por Comarca en Función de la técnica de riego. Fuente: Camacho (2003) Máquinas de Riego.*

+

**Costes de Mano de Obra Asalariada (€/Ha)**

*Estimación por Comarca en Función de la técnica de riego. Fuente: Camacho (2003) Máquinas de Riego.*

+

**Costes Variable de Maquinaria (€/Ha)**

*Estimación por Comarca en Función de la técnica de riego. Fuente: Camacho (2003) Máquinas de Riego.*

## Indice 2: Riesgo.

*Indicador: Desviación Típica del Mérgen Variable  $\sigma(x)$ .*

Los agricultores no pueden prever con exactitud el margen de beneficios ya que tanto el rendimiento de cada cultivo como el precio final de los productos es incierto.

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$$

*Del mismo modo que la base de datos permite obtener el margen variable esperado, también se puede obtener la varianza del margen asociado a cada cultivo y la matriz de varianzas covarianzas del conjunto de cultivos.*

*VCV*

La Desviación típica de una decisión de cultivos es igual a:

$$\sigma(x) = x^T VCV x$$

## *Indice 3: Complejidad de Gestión*

### *Indicador posible 1: Mano de Obra Total*

**De acuerdo con el supuesto de una tecnología de coeficientes fijos, la mano de obra asalariada necesaria para un determinado aprovechamiento  $i$  es proporcional al número de hectáreas cultivadas:**

$$N_i = N(x_i)$$

**La mano de obra total por hectárea de una decisión de cultivo estará dada por:**

$$N(x) = \frac{1}{X} \sum_i x_i N_i$$

## *Indice 3: Complejidad de Gestión*

### *Indicador posible 2: Mano de Obra Asalariada*

**De acuerdo con el supuesto de una tecnología de coeficientes fijos, la mano de obra asalariada necesaria para un determinado aprovechamiento  $i$  es proporcional al número de hectáreas cultivadas:**

$$L_i = L(x_i)$$

**La mano de obra asalariada por hectárea de una decisión de cultivo estará dada por:**

$$L(x) = \frac{1}{X} \sum_i x_i L_i$$

### *Indice 3: Complejidad de Gestión*

#### *Indicador posible 3: Costes Directos como Proporción de los costes variables totales*

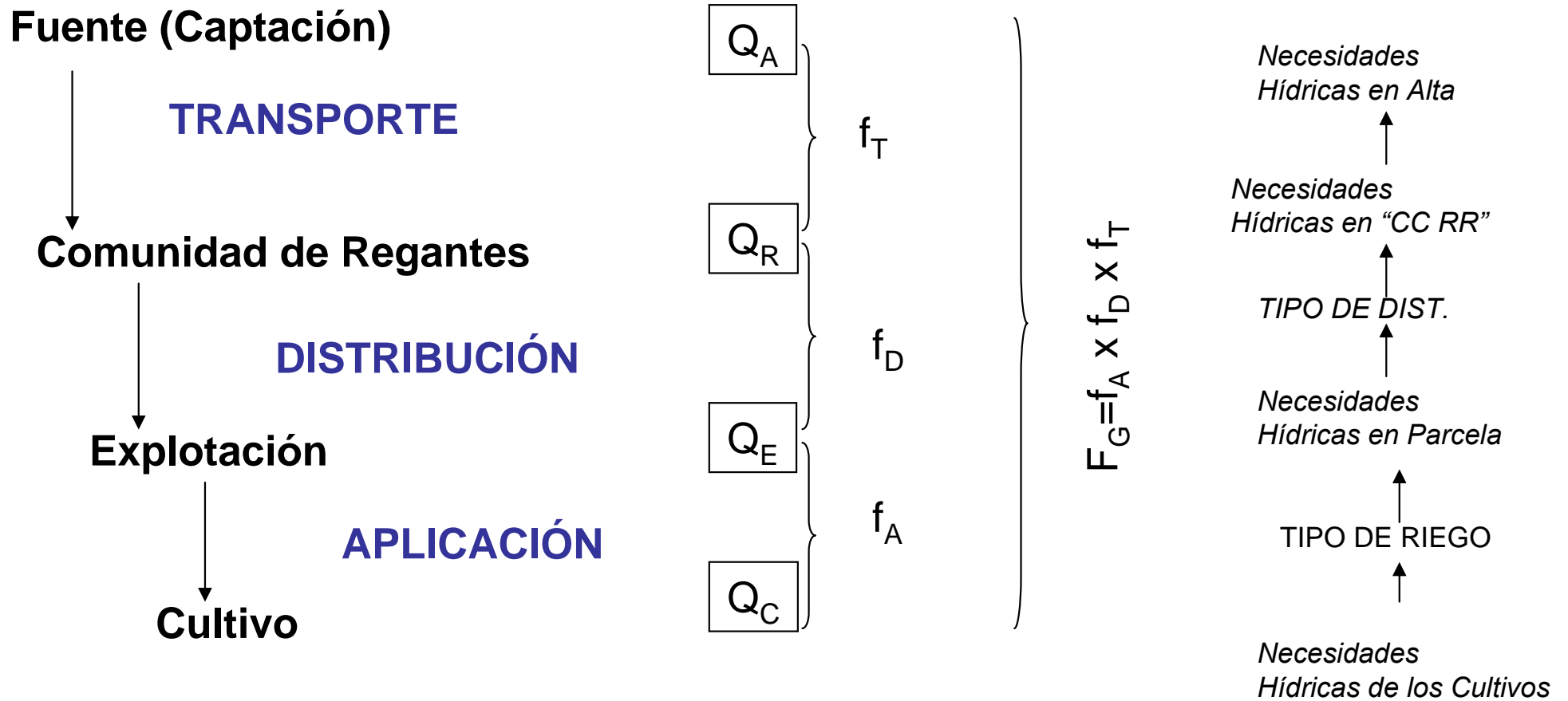
De acuerdo con el supuesto de una tecnología de coeficientes fijos, los costes directos y los totales son característicos de cada cultivo:

$$C = CD/CV \quad c_i = c(x_i)$$

El Cálculo de este indicador exige calcular por separado el coste directo y el coste total de la decisión

$$c(x) = \frac{\sum_i x_i CD_i}{\sum_i CV}$$

# Análisis de la Eficiencia Hídrica de la Agricultura



<i>Etapas</i>	<i>Procesos</i>	<i>"Necesidades Hídricas"</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>¿Cómo construir la información?</i>
---------------	-----------------	-------------------------------	-------------------	--



# Final Conclusion

- Although mid term revision of the CAP will not represent a reduction in water use in the Campiña Baja Irrigation District and the use of fertilisers will increase, the CAP reform represents an opportunity that enhance the effectiveness of price incentives as instruments to improve the quality of water ecosystems, making possible the compliance with the WFD requirements and avoiding negative impacts on rural income.

$p' (\text{€}/\text{m}^3)$

