

Módulo 7

Compromisos:

Repaso por métodos de análisis y optimización

Curso de Posgrado: “Redes Bayesianas para la toma de decisiones para el manejo y conservación de recursos naturales.”

Andrea P. Goijman

goijman.andrea@inta.gob.ar



GTBA

Grupo Transdisciplinario de
Biodiversidad y Agroecosistemas

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina

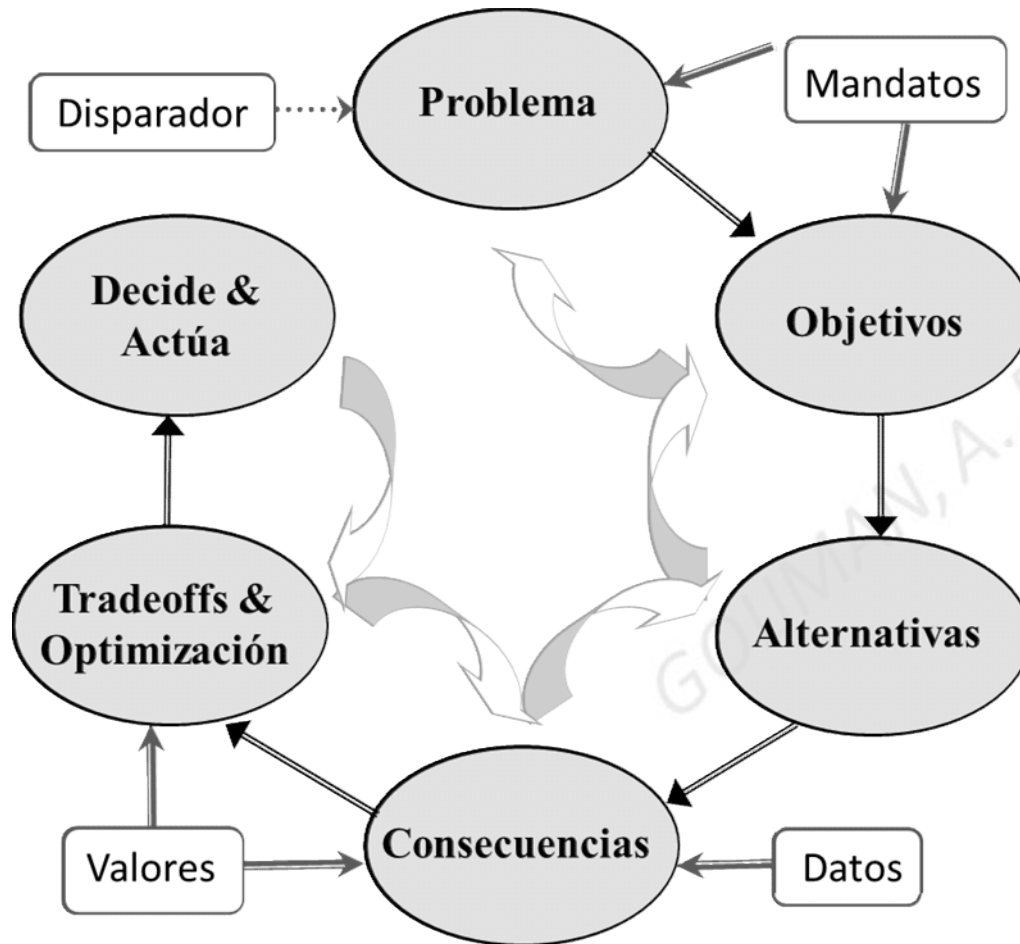


CONICET

MENDOZA

CCT CONICET Mendoza 13 - 17 Mayo 2024

¿Cuándo consideramos la optimización?

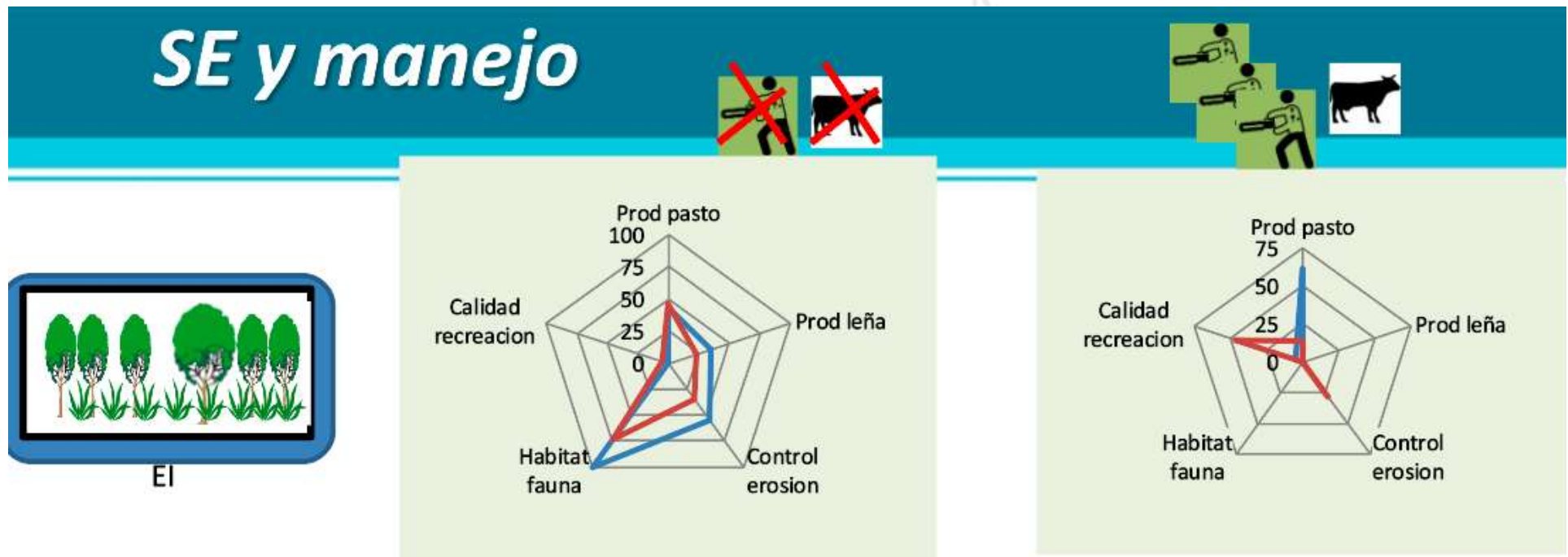


Una vez que se compararon las consecuencias de cada alternativa sobre los objetivos.

Muchas veces, hay que ceder en algo de un objetivo, para alcanzar más de otro.

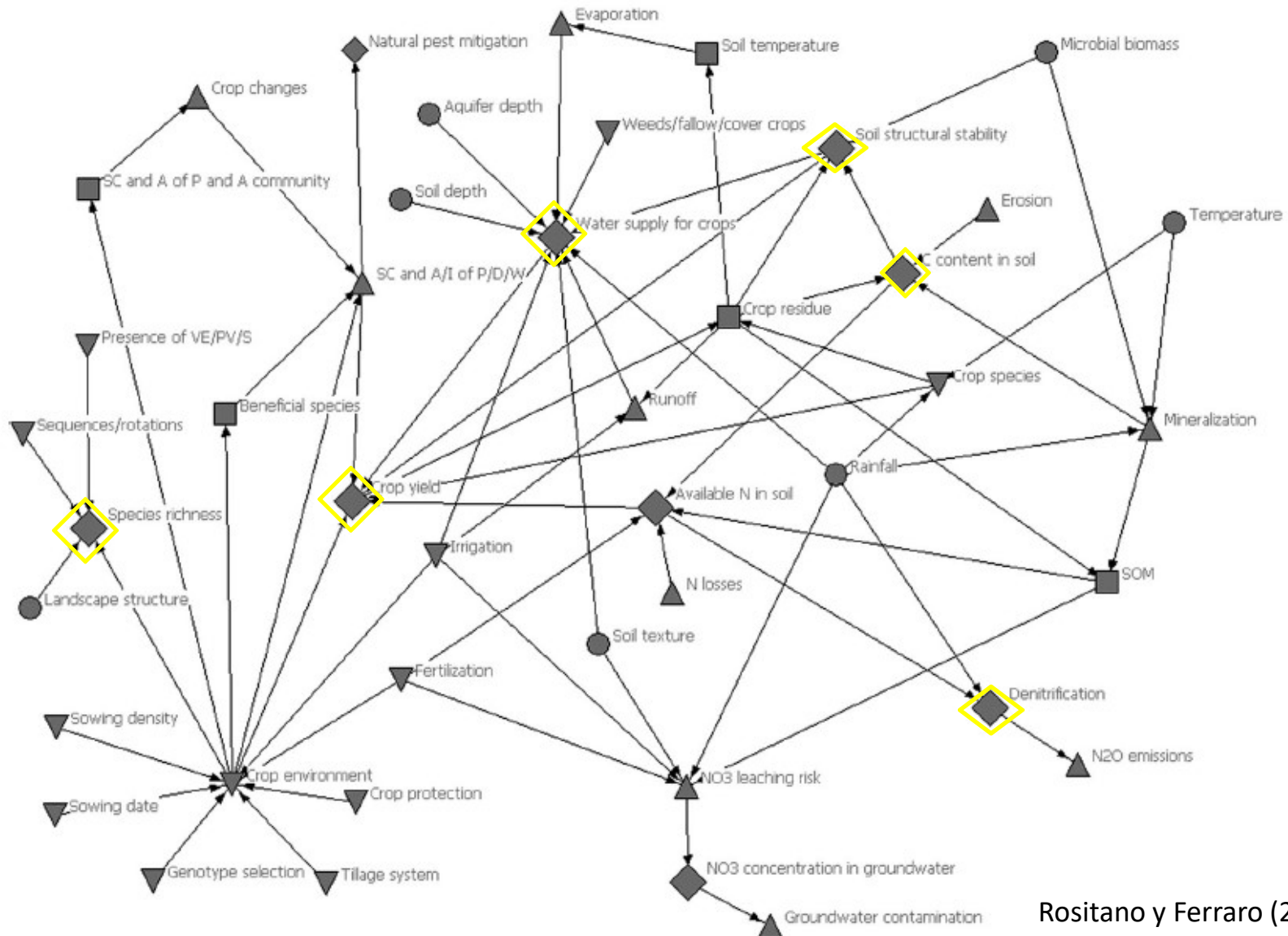
¿... o evaluamos compromisos entre variables?

Una vez que se modelaron las consecuencias, es decir, las probabilidades condicionales entre variables.



¿... o evaluamos compromisos entre variables?

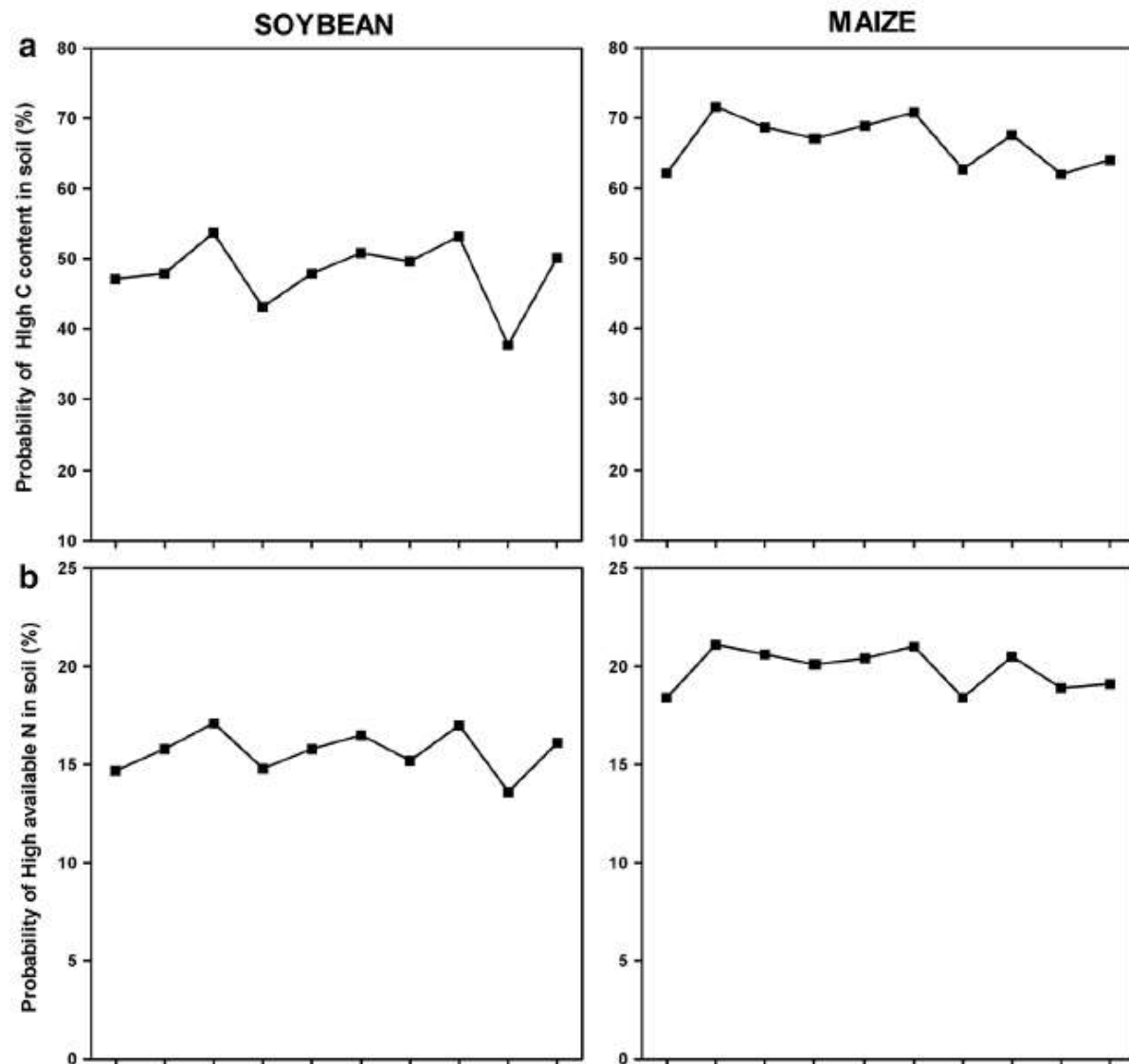
Una vez que se modelaron las consecuencias, es decir, las probabilidades cond



Rositano y Ferraro (2014)

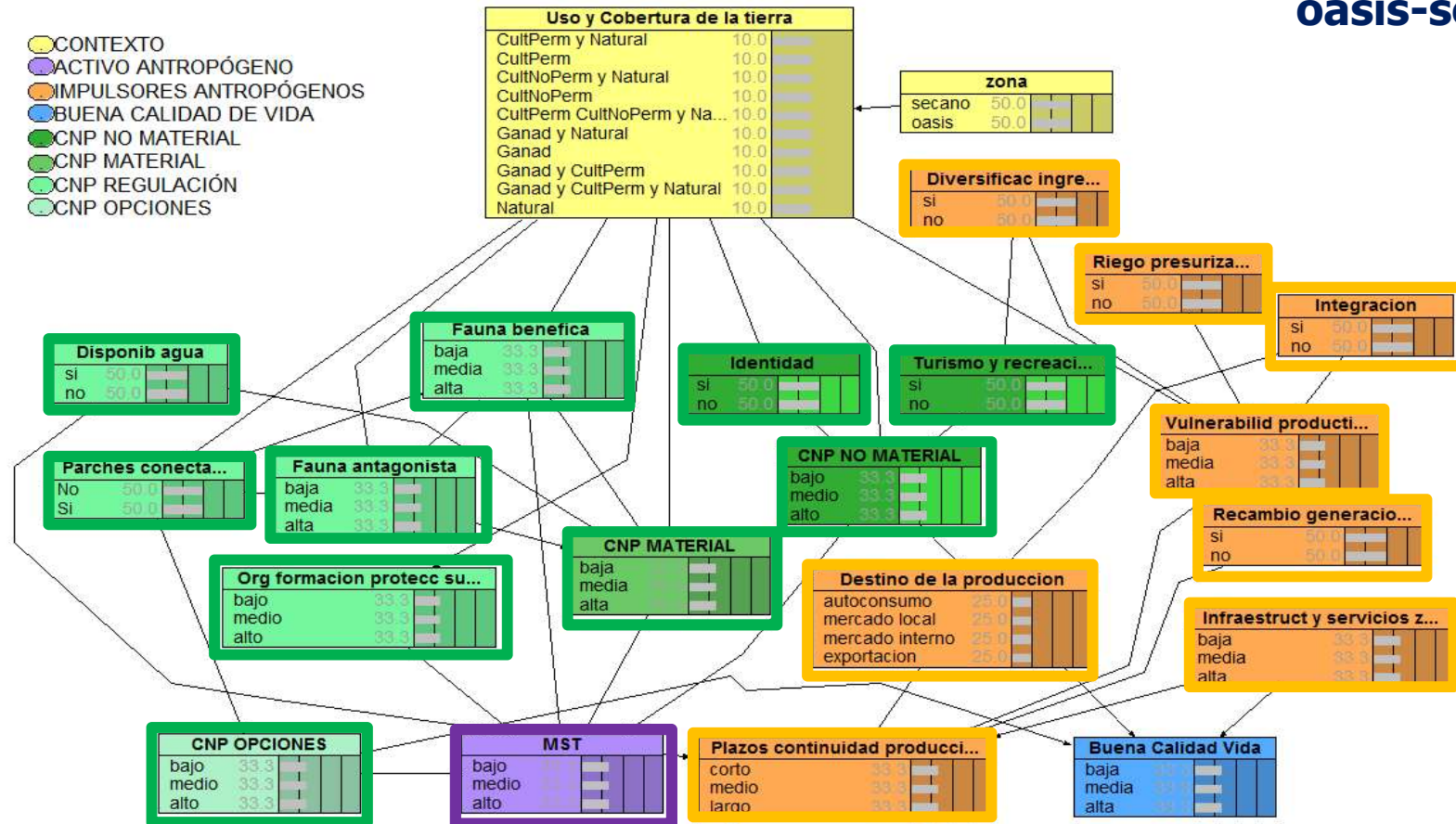
¿... o evaluamos compromisos entre variables?

Fig. 4 Provision level of four ES for two land-use scenarios (soybean vs. maize) along 10 growing seasons (2000/2001–2009/2010) in Pampean agroecosystems. These ES are: (1) carbon (C) balance, (2) nitrogen (N) balance, (3) groundwater contamination control, and (4) N₂O emission control. The state more related to agroecosystems sustainability for each ES provision indicator is presented: (1) *High C* content in soil, (2) *High* available N in soil, (3) *Low* NO₃ concentration in groundwater, and (4) *Low* denitrification, respectively. Each state is expressed as a probability (%)



Investigación sobre agroecosistemas del Valle de Uco

Escala regional: interfase oasis-secano



Optimización: Métodos de Decisión Única

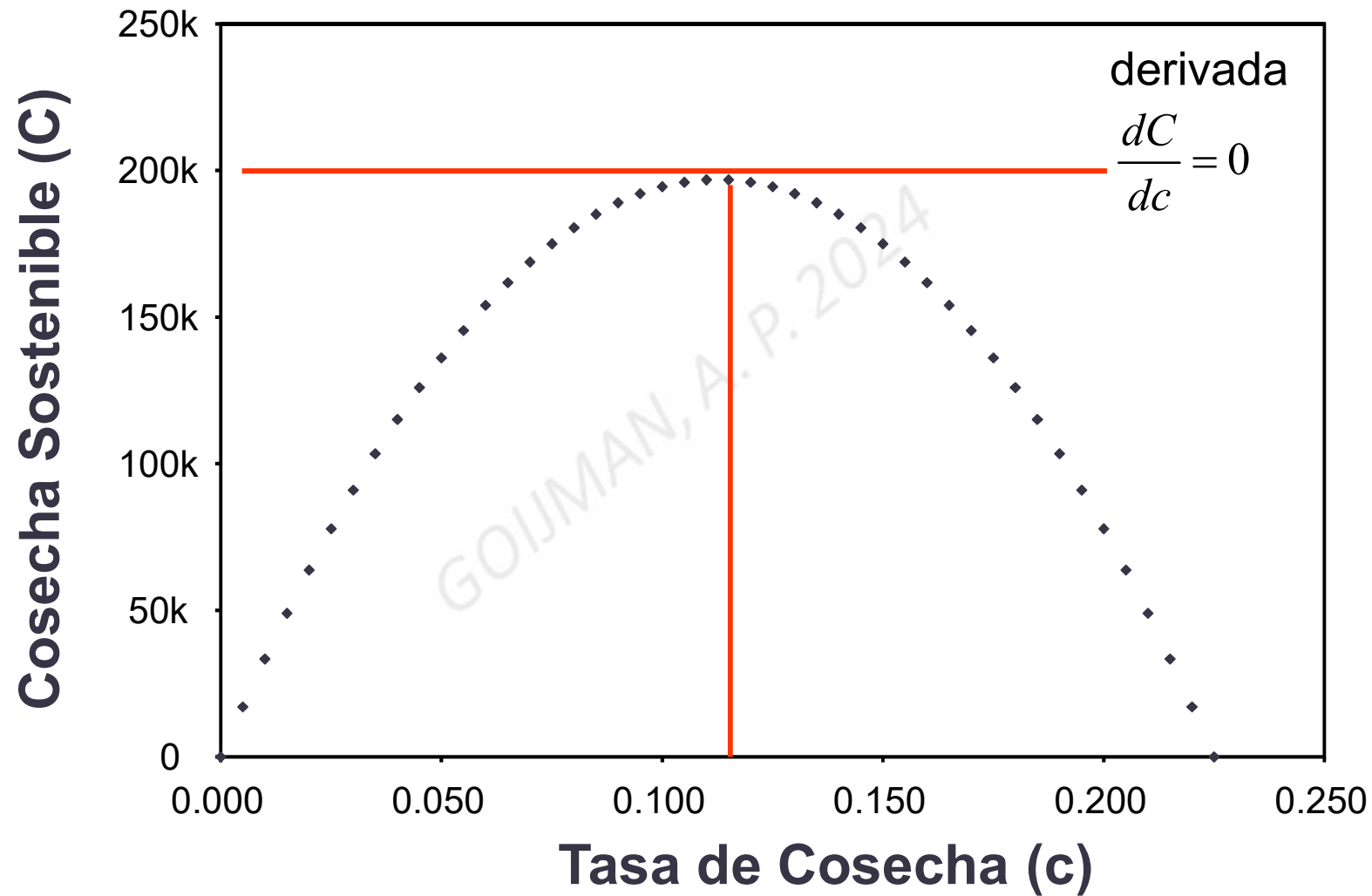
	SIN INCERTIDUMBRE	CON INCERTIDUMBRE
OBJETIVO ÚNICO	Soluciones gráficas Soluciones numéricas Derivación (cálculo) Programación lineal o no lineal	Árboles de decisión Simulación Redes de creencias Bayesiana
OBJETIVOS MÚLTIPLES	Técnica multi-atributo simple	Árboles de Decisión Redes de creencias Bayesianas Técnica multi-atributo simple

Herramientas de Objetivo Único

1. Determinísticos (sin incertidumbre)

- Variable de decisión de única vez
 - Ej. Tasas de cosecha, cantidad de insecticidas
- Los resultados predichos (objetivo) como función de la variable de decisión
- Métodos de solución
 - Cálculo, diferenciación
 - Soluciones numéricas

Ejemplo. Optimización Gráfica



Herramientas de Objetivo Único

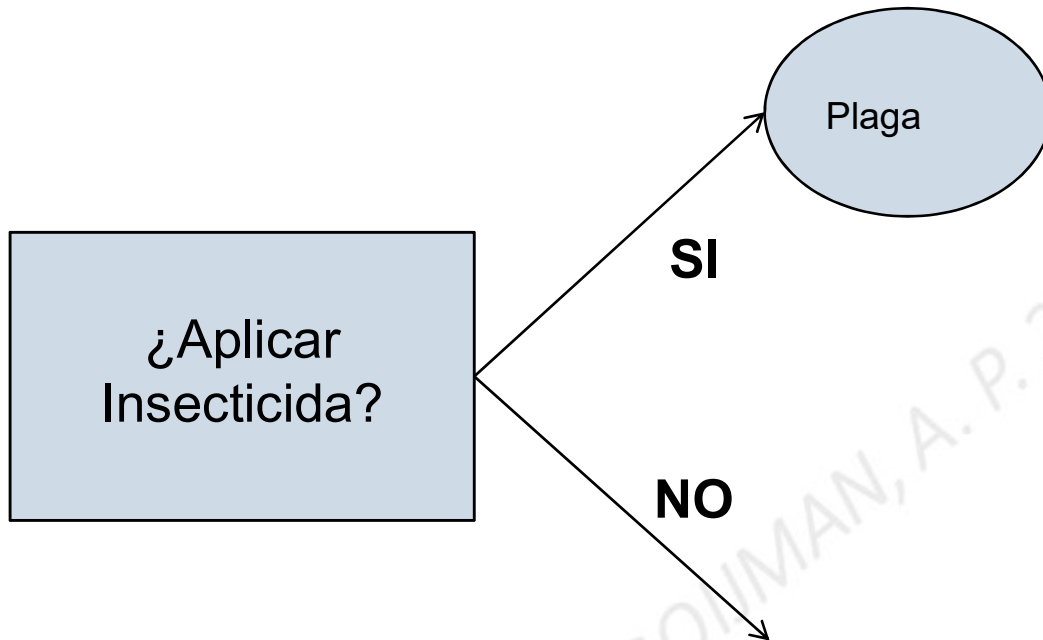
2. Estocásticos (con incertidumbre)

- Necesidad de predecir los resultados y sus probabilidades
- Herramientas comunes
 - Árboles de Decisión
 - Redes de Creencia Bayesiana (BBN)
- Evalúan la mejor (óptima) decisión utilizando el “**Valor Esperado**”

Árbol de Decisión

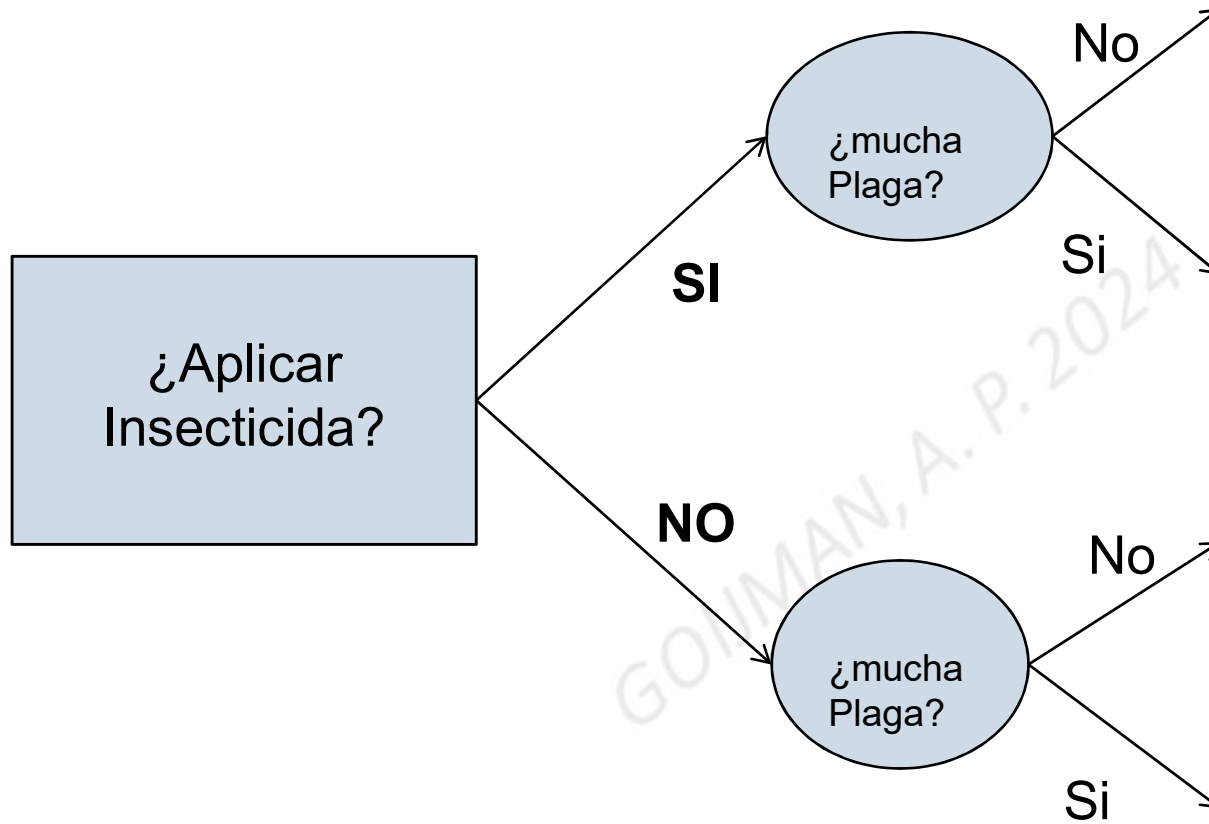
Rendimiento
Soja (Objetivo)

??



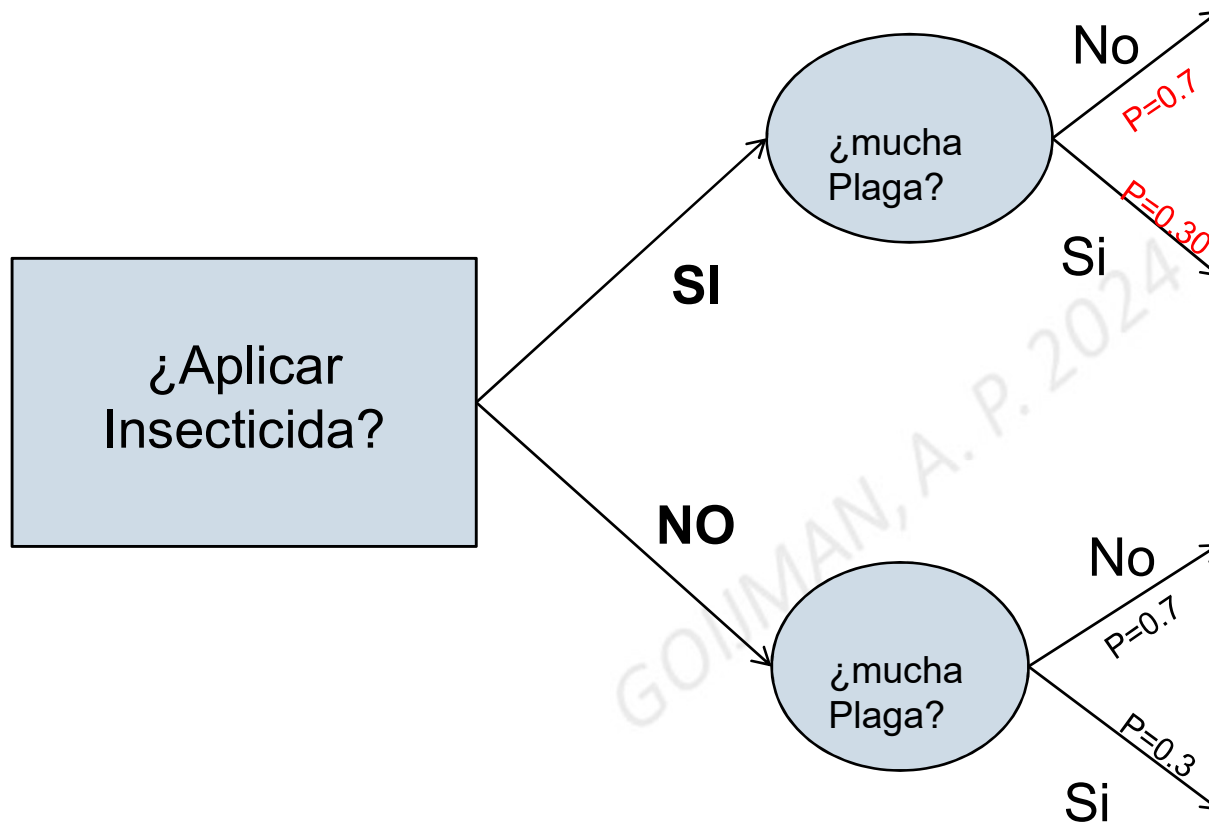
Árbol de Decisión

Rendimiento
Soja (Objetivo)

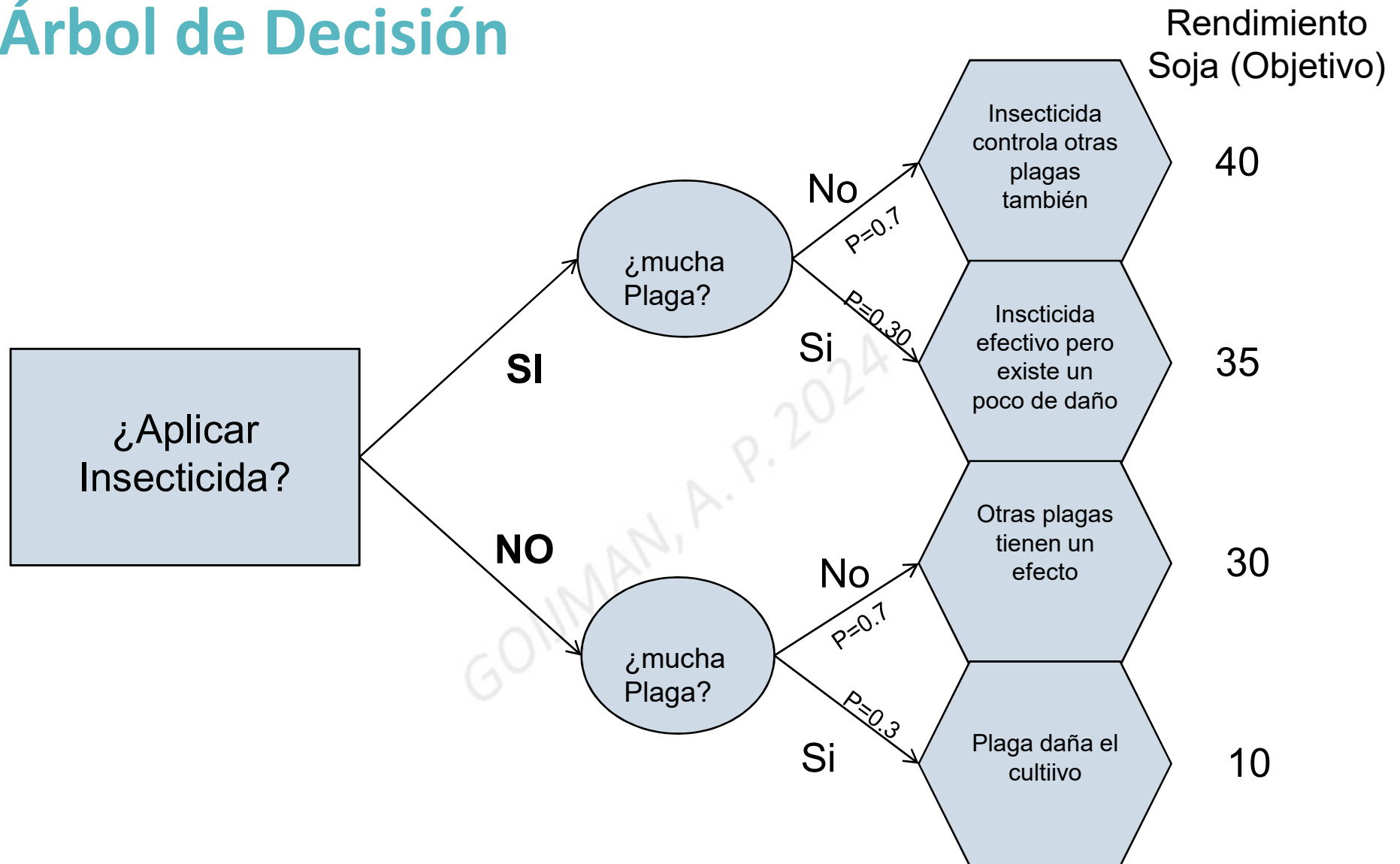


Árbol de Decisión

Rendimiento
Soja (Objetivo)

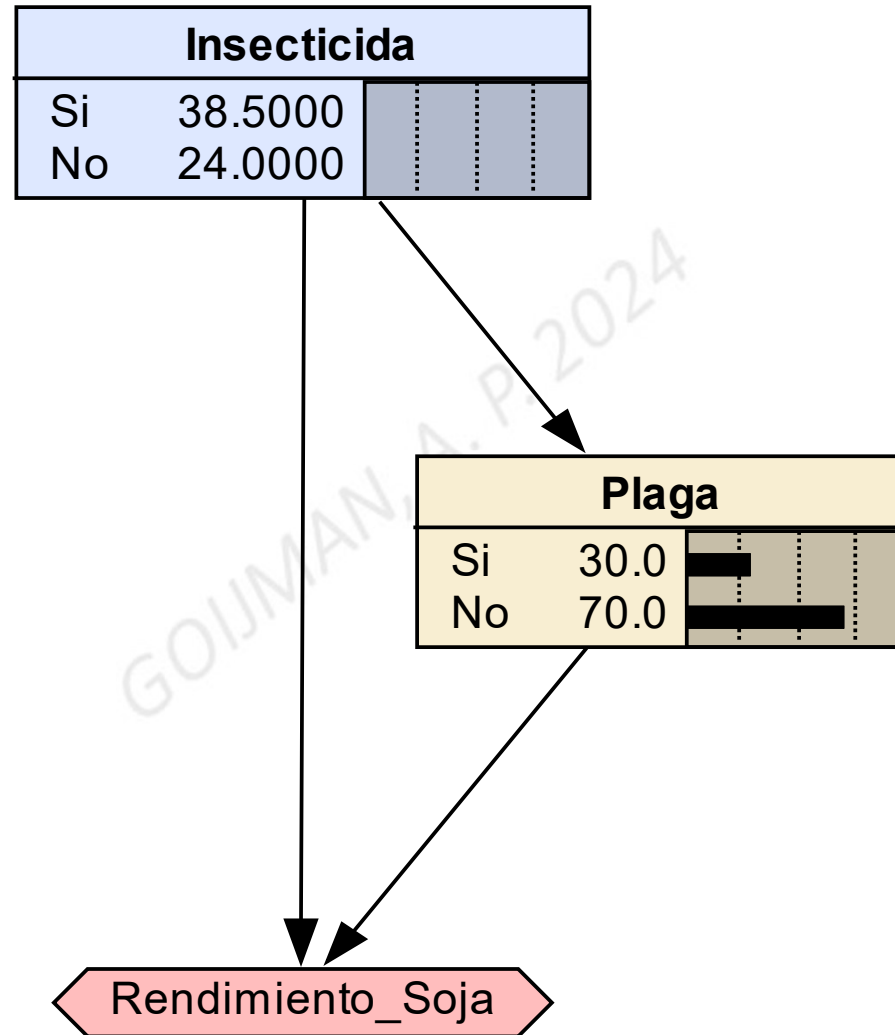


Árbol de Decisión



Red de Creencias Bayesianas (BBN)

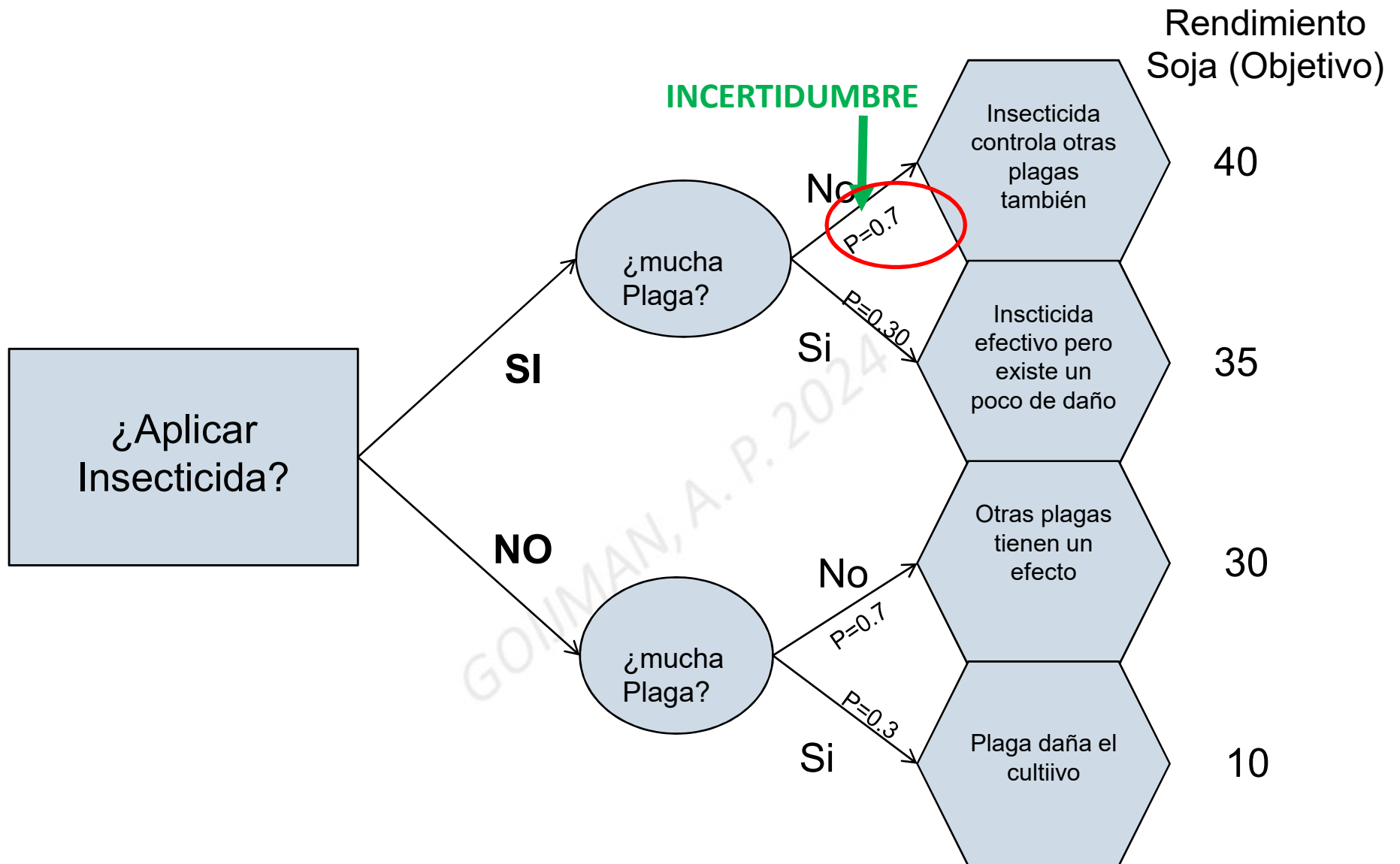
¿Aplico o no?



Valor Esperado de una Decisión (VE)

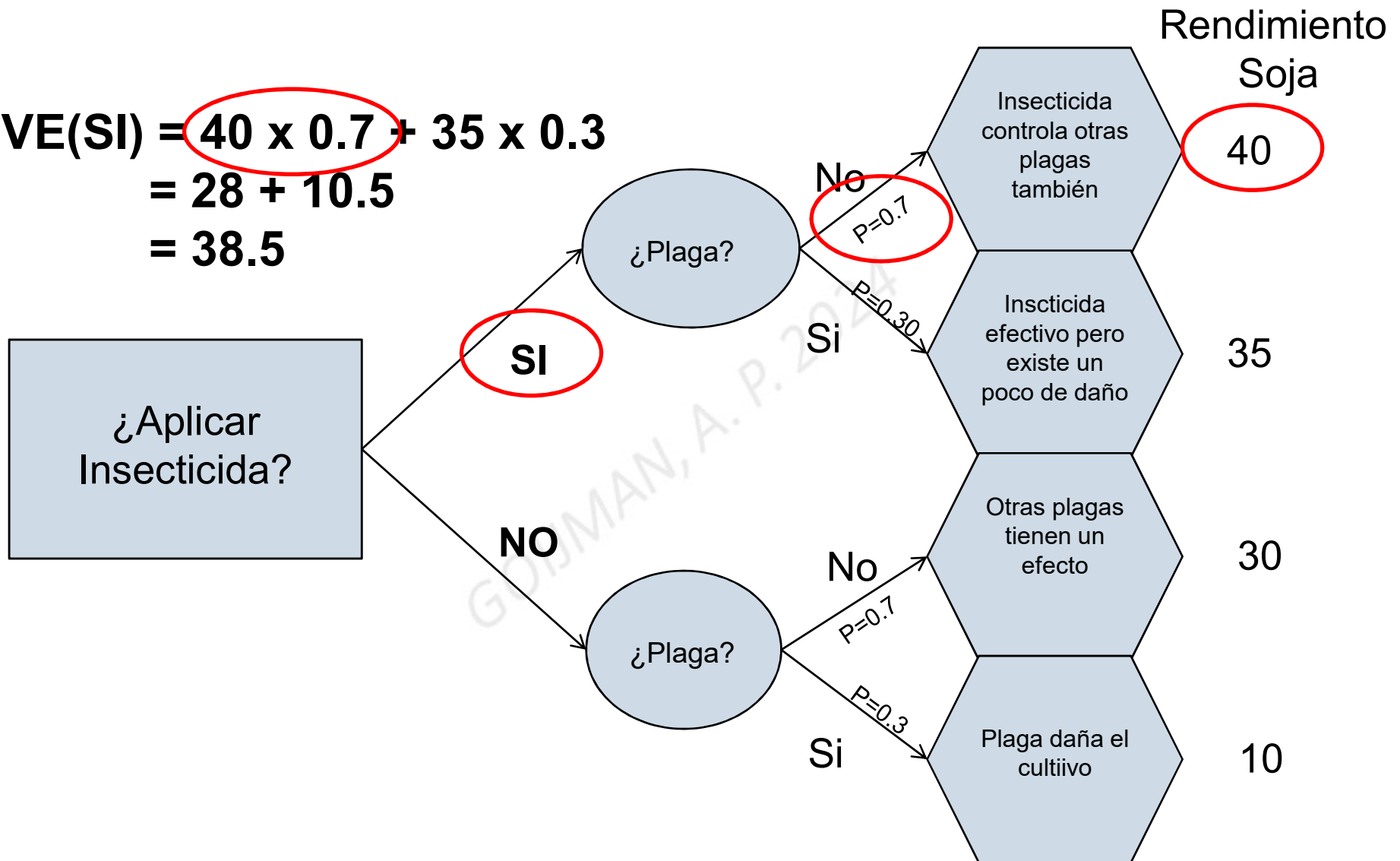
- La incertidumbre es representada por una *probabilidad*
- El resultado de la decisión tiene un valor determinado por estas probabilidades y los valores del objetivo

Valor promedio de un atributo sobre sus valores de distribución



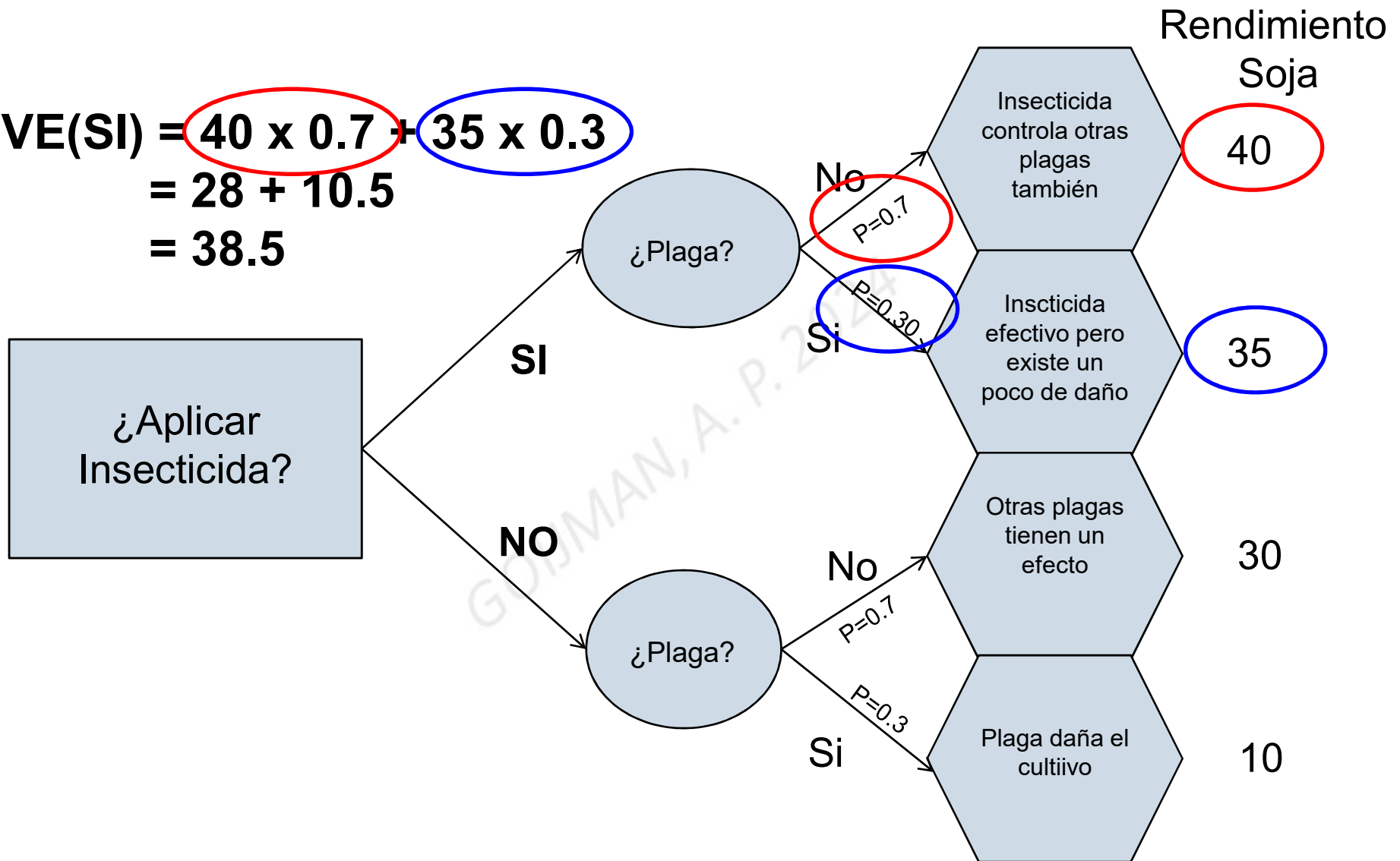
Valor Esperado de una Decisión (VE)

$$\begin{aligned} \text{VE(SI)} &= 40 \times 0.7 + 35 \times 0.3 \\ &= 28 + 10.5 \\ &= 38.5 \end{aligned}$$



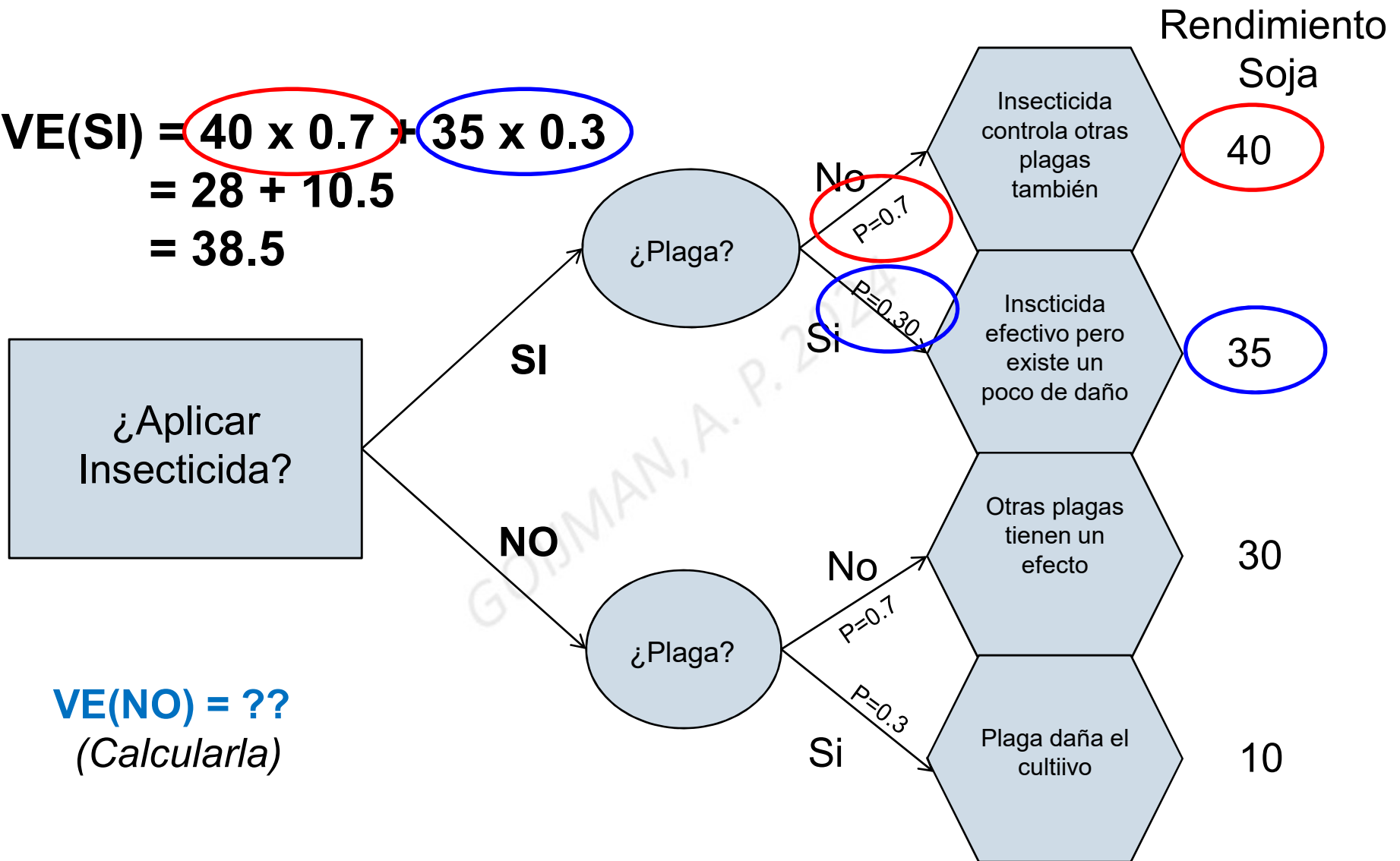
Valor Esperado de una Decisión (VE)

$$\begin{aligned} \text{VE(SI)} &= 40 \times 0.7 + 35 \times 0.3 \\ &= 28 + 10.5 \\ &= 38.5 \end{aligned}$$



Valor Esperado de una Decisión (VE)

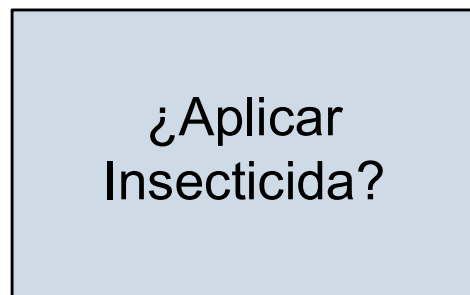
$$\begin{aligned} \text{VE(SI)} &= 40 \times 0.7 + 35 \times 0.3 \\ &= 28 + 10.5 \\ &= 38.5 \end{aligned}$$



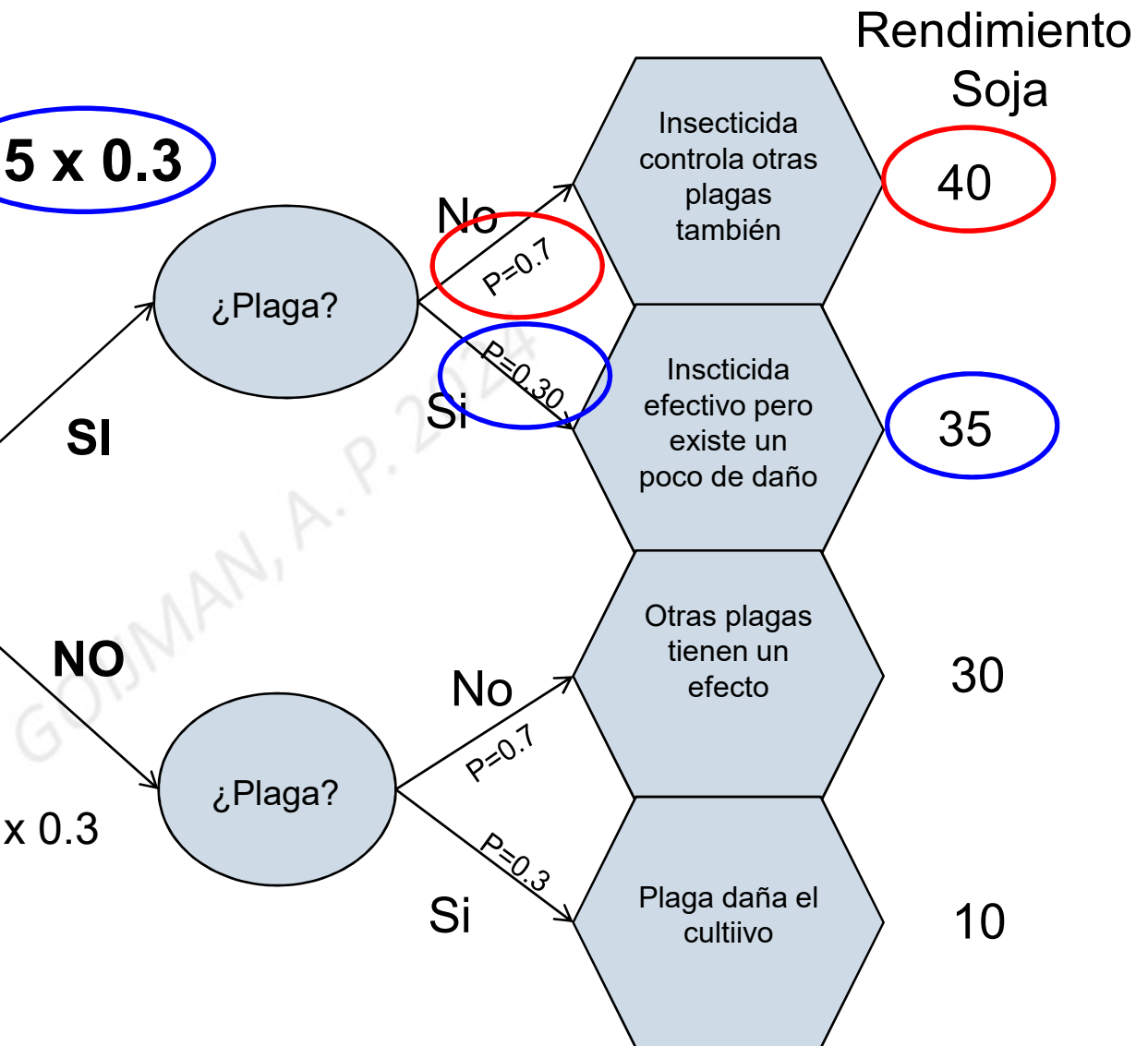
VE(NO) = ??
(Calcularla)

Valor Esperado de una Decisión (VE)

$$\begin{aligned} \text{VE(SI)} &= 40 \times 0.7 + 35 \times 0.3 \\ &= 28 + 10.5 \\ &= 38.5 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{VE(NO)} &= 30 \times 0.7 + 10 \times 0.3 \\ &= 21 + 3 \\ &= 24 \end{aligned}$$



Valor Esperado de una Decisión (VE)

$$VE(SI) = 40 \times 0.7 + 35 \times 0.3$$

$$VE (\text{Decisión 1}) = \text{Valor del Objetivo X} * \text{Probabilidad Objetivo X}$$

GOIJMAN, A. P. 2024

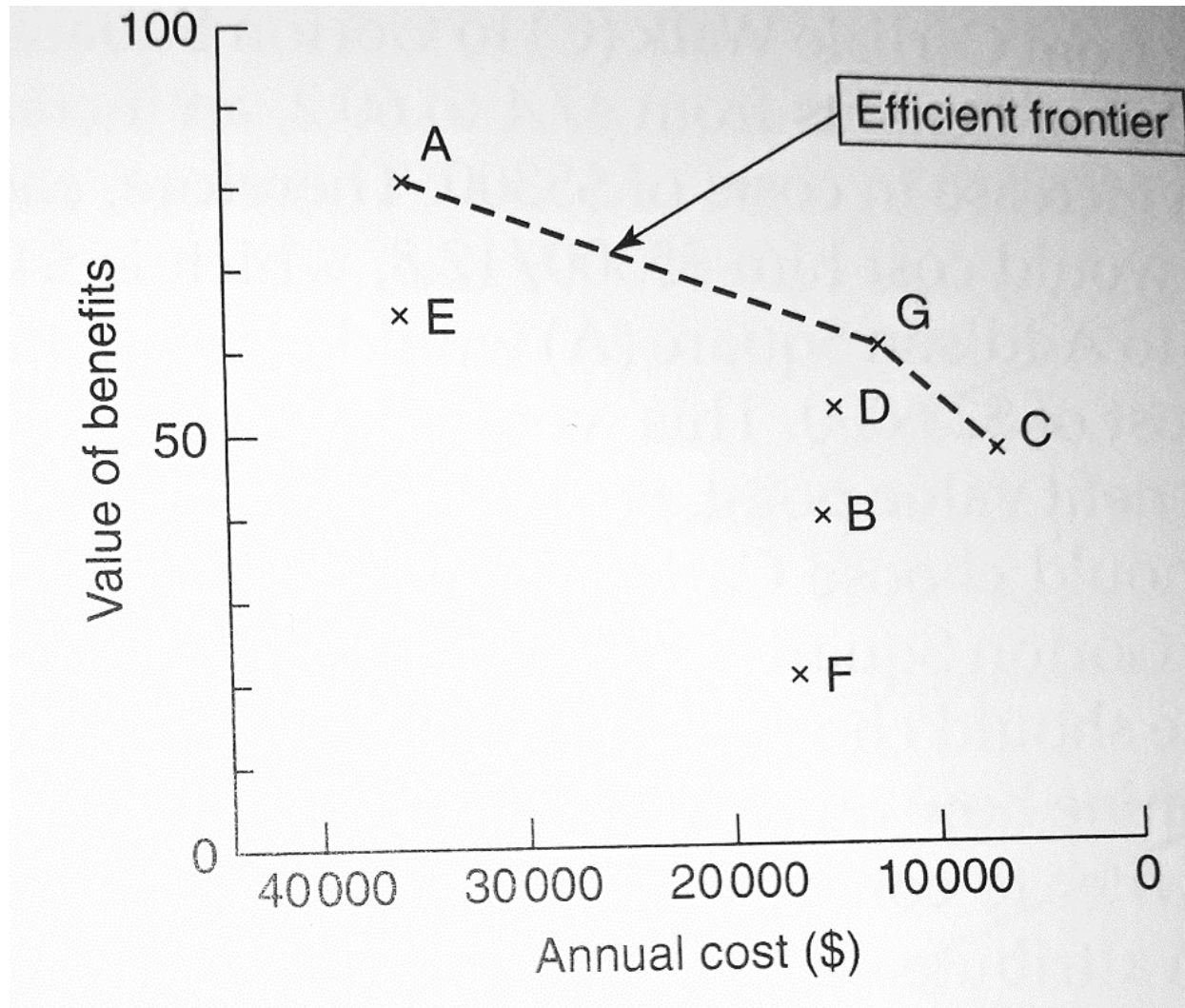
Herramientas optimización Objetivos Múltiples

	SIN INCERTIDUMBRE	CON INCERTIDUMBRE
OBJETIVO ÚNICO	Soluciones gráficas Soluciones numéricas Derivación (cálculo) Programación lineal o no lineal	Árboles de decisión Simulación Redes de creencia Bayesiana
OBJETIVOS MÚLTIPLES	Técnica multi-atributo simple	Árboles de Decisión Redes de creencia Bayesianas

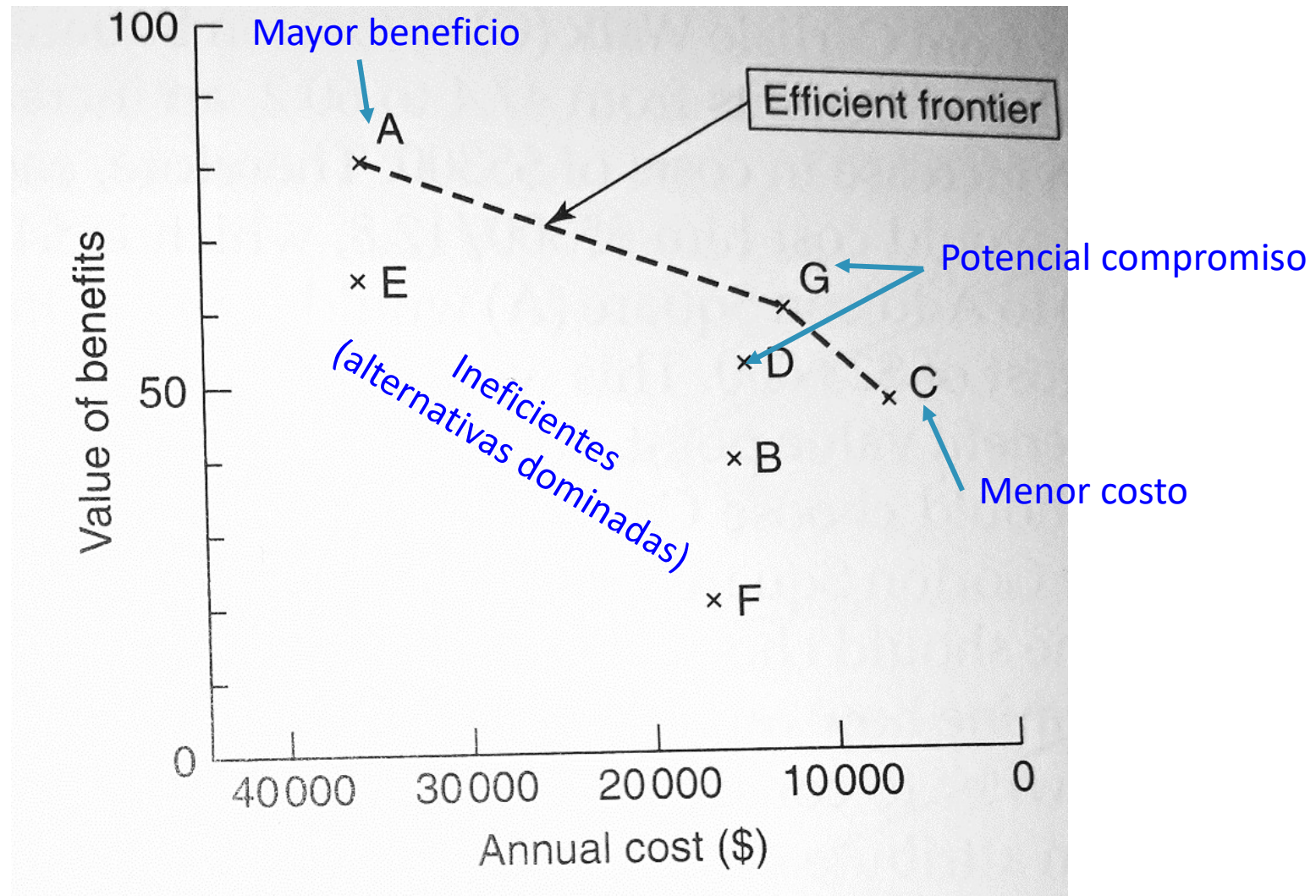
Estrategias para Objetivos Múltiples

- Hacer una o más:
 - Métodos cuantitativos de compromisos (*“tradeoffs”*)
 - Poner las consecuencias en una escala común
 - Poner pesos y sumar a través de los objetivos
 - Reducir a un problema de objetivo único
 - Transformar algunos objetivos en limitaciones
 - Combinar objetivos en un atributo único (ej. Función de utilidad)
 - Negociar una solución de un set de compromisos
 - A veces el problema no puede ser reducido a un objetivo único
 - O los actores no se sienten cómodos asignando pesos a los objetivos
 - Se simplifica el problema lo más posible, negociando una solución

Negociar una solución

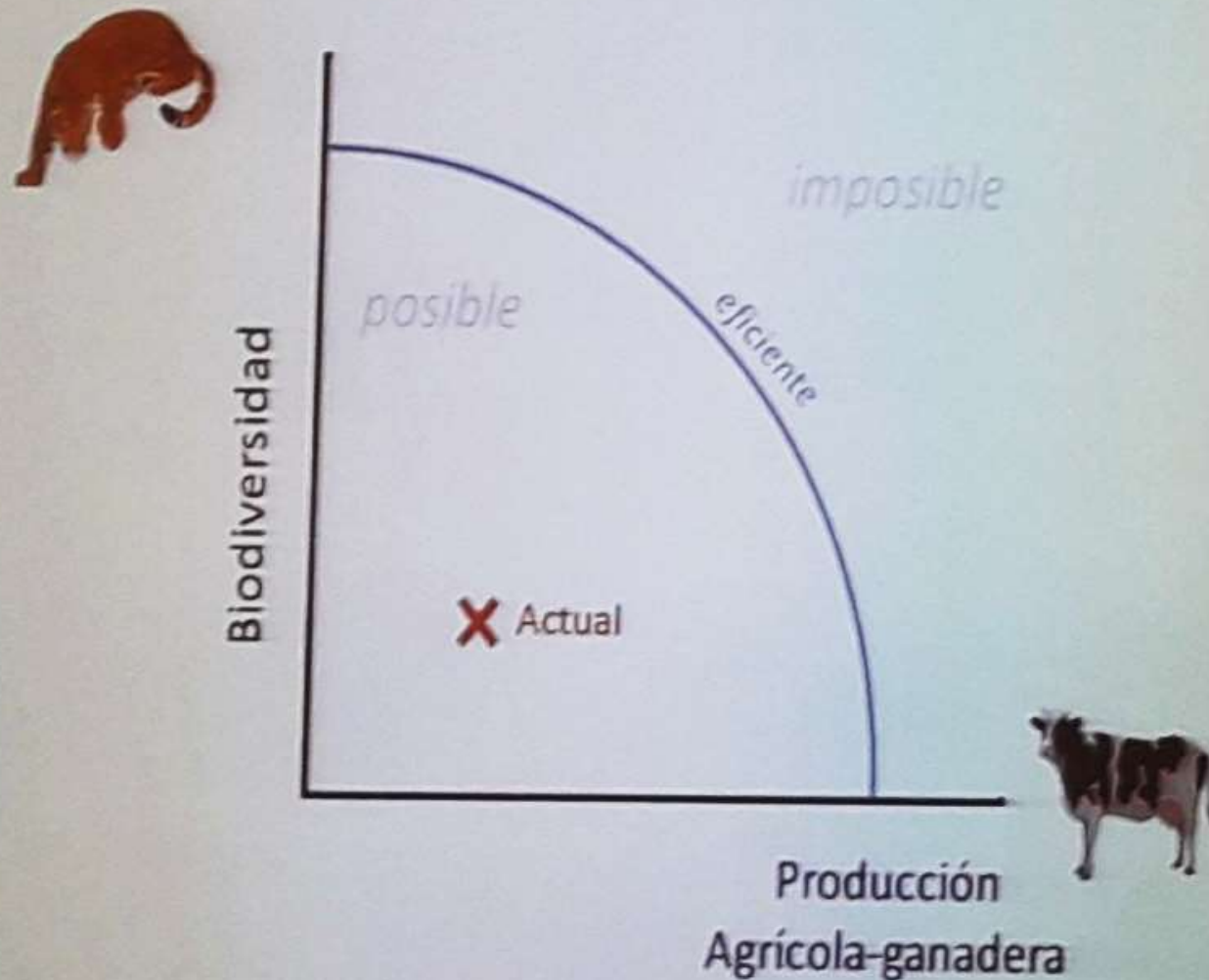


Beneficios vs. costos (frontera eficiente)



Beneficios vs. costos (frontera eficiente)

Fronteras de eficiencia para entender los trade-offs



Evaluar compromisos

Objetivos	Wt	Alternativas	
		A1	A2
Obj1 (A=Mejor)	0.7	A	C
Obj2 (minimiza)	0.3	8	2

Problema: ¿Cómo comparamos Objetivo 1 y Objetivo 2?

Respuesta: convertir a una escala normalizada y asignar pesos

Ejemplo ciclo PrOACT

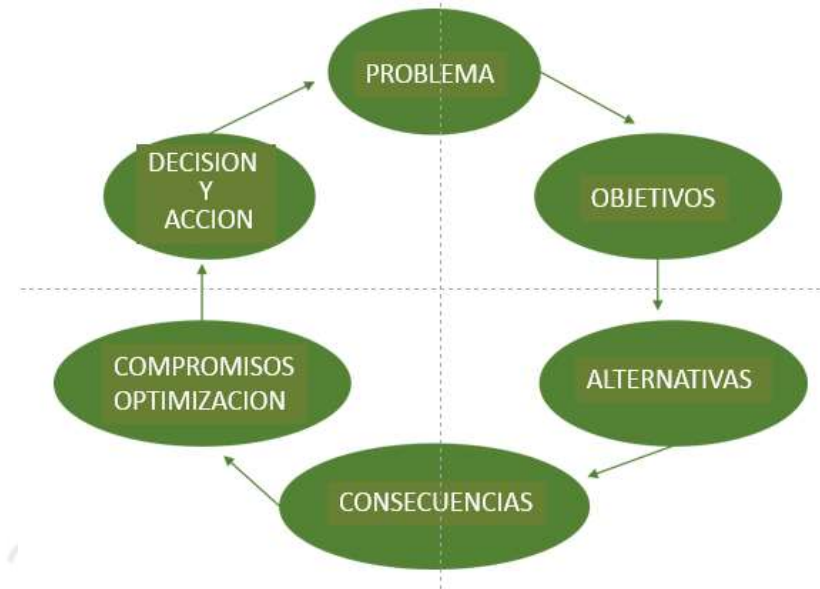
PROBLEMA

¿Dónde mudarme que asegure buena calidad de vida por los próximos 5 años a mi y mi familia?”

OBJETIVOS

Tiempo de viajes, Ruido del tránsito

ALTERNATIVAS: 2 opciones



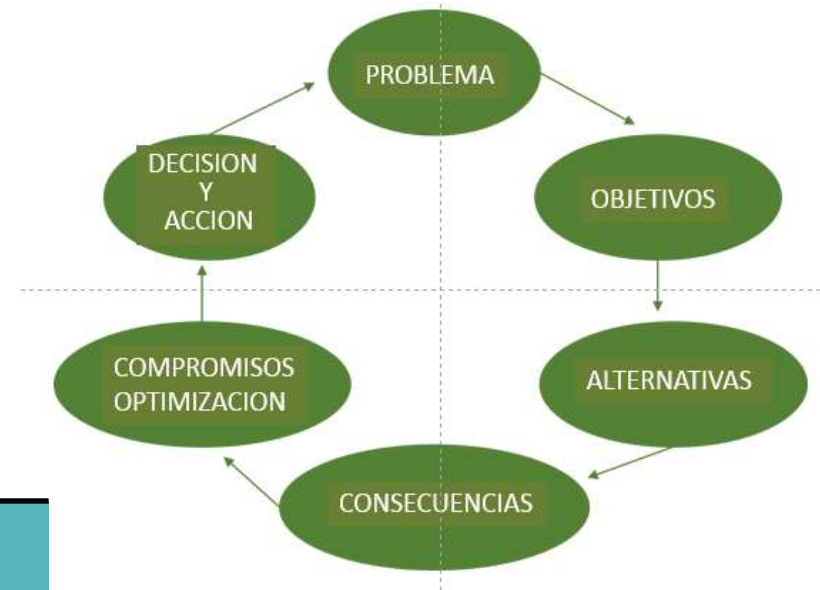
Ejemplo ciclo PrOACT

Entonces evaluamos las **CONSECUENCIAS**.

	RUIDO DEL TRANSITO	TIEMPO DE VIAJE
OPCION 1	0,5	0,42
OPCION 2	0,01	0,93


¿Cómo elegimos?

Supongamos que **valoramos** igual el tránsito y el tiempo de viaje



Supongamos que **valoramos** igual el tránsito y el tiempo de viaje

	RUIDO DEL TRANSITO	TIEMPO DE VIAJE
OPCION 1	0,5	0,42
OPCION 2	0,01	0,93

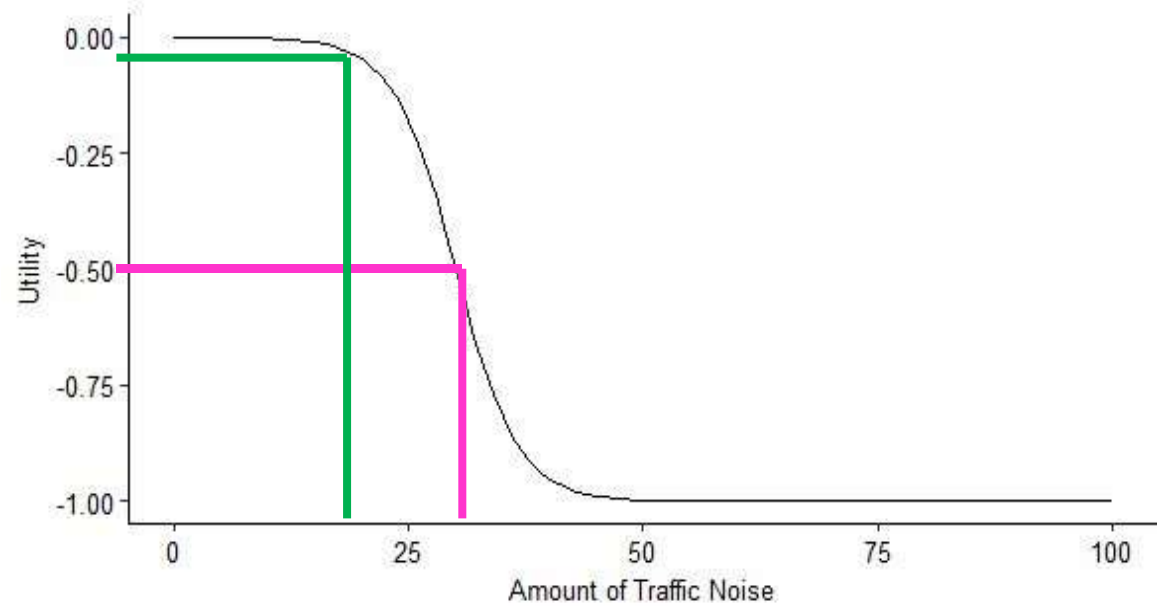
 MEJOR OPCIÓN

$$\text{OPCION 1} = (0,5 + 0,42) * 0,5 = 0,46$$

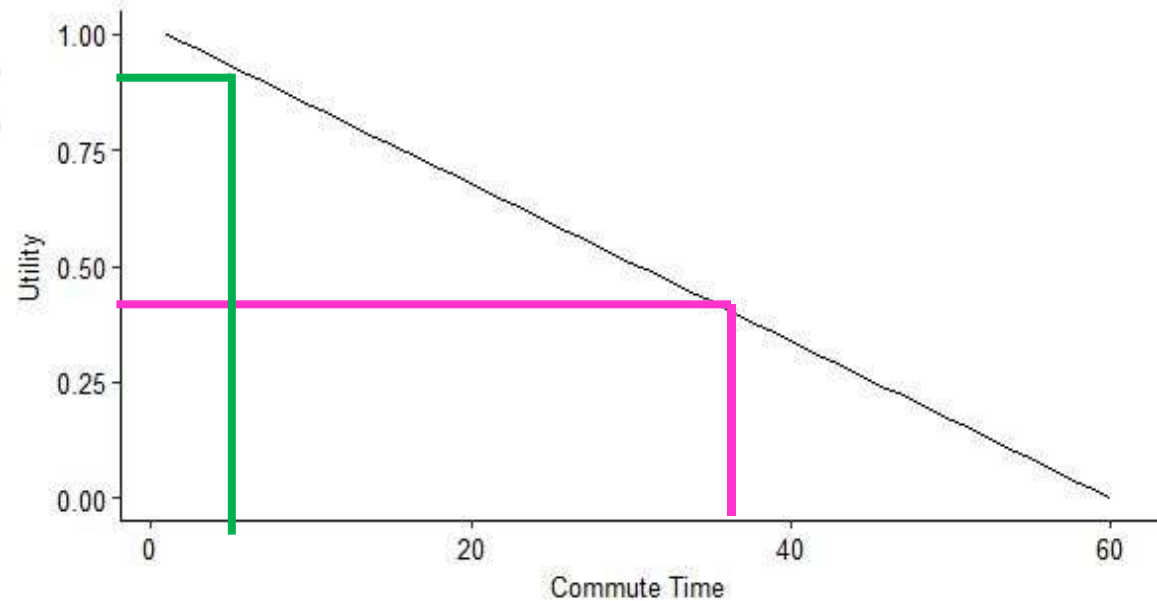
$$\text{OPCION 2} = (0,01 + 0,93) * 0,5 = \mathbf{0,47}$$

Ejemplo **curvas de valor:**


Cómo cambia nuestra
felicidad con el ruido del
tránsito



O con el tiempo de
viaje



Supongamos que **valoramos** el doble el tiempo de viaje que el tránsito...

	RUIDO DEL TRANSITO	TIEMPO DE VIAJE	
OPCION 1	0,5	0,42	
OPCION 2	0,01	0,93	 MEJOR OPCIÓN

$$\text{OPCION 1} = 0,5 * \mathbf{0.33} + 0,42 * \mathbf{0,66} = 0,44$$

$$\text{OPCION 2} = 0,01 * \mathbf{0.33} + 0,93 * \mathbf{0,66} = \mathbf{0,62}$$

Simplificar – Convertir en Objetivo único

- Se puede convertir algún objetivo en limitación
 - Por ejemplo. Presupuesto disponible
- Los objetivos múltiples pueden ser combinados en un valor único, o Utilidad multi-atributo o **función de utilidad**
 - Asignando pesos a cada objetivo
 - Calculando un valor ponderado para cada alternativa
- Métodos:
 - Tablas SMART (simple-multi-attribute Rating Technique)
 - Función de utilidad (Ej. Redes de creencia Bayesianas)

Tablas SMART

Técnica de valoración multi-atributo Simple

Normalizar todos los atributos entre 0-1

1. Asignar pesos a cada atributo
2. Calcular la suma ponderada de los valores para cada alternativa (Valor esperado!)
3. Recomendar alternativa
4. Análisis de sensibilidad

Ejemplo. Se desea aumentar el rendimiento de un cultivo X, controlando una plaga nueva, al tiempo que se minimizan daños ambientales.

MATRIZ DE CONSECUENCIAS			ALTERNATIVAS		
OBJETIVO	DIRECC.	UNIDAD	No aplicar	Insecticida 1	Insecticida 2
Rendimiento	max	qq/ha	10	40	30
Contaminación	Min	0-1 Norm(Ppm)	0	1	0,4
Costo	Min	\$	0	70	150

Paso 1: Normalizar las unidades

1 = mejor

0 = peor

Para maximizar: $(X - \min) / (\max - \min)$

Para minimizar: $(X - \max) / (\min - \max)$

MATRIZ DE CONSECUENCIAS		ALTERNATIVAS		
OBJETIVO	DIRECC.	No aplicar	Insecticida 1	Insecticida 2
Rendimiento	Max	0	1	0,67
Contaminación	Min	1	0	0,4
Costo	Min	1	0,53	0

Paso 2: Asignar pesos a cada objetivo

MATRIZ DE CONSECUENCIAS		ALTERNATIVAS			
OBJETIVO	DIRECC.	No aplicar	Insecticida 1	Insecticida 2	Pesos
Rendimiento	Max	0	1	0,67	0,5
Cotaminación	Min	1	0	0,4	0,3
Costo	Min	1	0,53	0	0,2

Paso 3: Multiplicar los pesos de cada objetivo por los valores normalizados de cada atributo.

MATRIZ DE CONSECUENCIAS		ALTERNATIVAS			
OBJETIVO	DIRECC.	No aplicar	Insecticida 1	Insecticida 2	Pesos
Rendimiento	Max	0	1	0,67	0,5
Cotaminación	Min	1	0	0,4	0,3
Costo	Min	1	0,53	0	0,2

Paso 3: Multiplicar los pesos de cada objetivo por los valores normalizados de cada atributo.

MATRIZ DE CONSECUENCIAS		ALTERNATIVAS			
OBJETIVO	DIRECC.	No aplicar	Insecticida 1	Insecticida 2	Pesos
Rendimiento	Max	0	0,5	0,34	0,5
Cotaminación	Min	0,3	0	0,12	0,3
Costo	Min	0,2	0,11	0	0,2

Paso 4: Calcular el valor final de cada alternativa, sumando los valores de las columnas.

MATRIZ DE CONSECUENCIAS		ALTERNATIVAS			
OBJETIVO	DIRECC.	No aplicar	Insecticida 1	Insecticida 2	Pesos
Rendimiento	Max	0	0,5	0,34	0,5
Contaminación	Min	0,3	0	0,12	0,3
Costo	Min	0,2	0,11	0	0,2
Valor Final		0,5	0,61	0,46	

Redes de Creencias Bayesianas y función de utilidad

- Función de utilidad (decisiones multi-objetivo)

Utilidad ($aves_i$, $costo_j$, $bienestar_k$) =

$$w_{aves} * U(Aves_i) + w_{costo} * U(Costo_j) + w_{bienestar} * U(Bienestar_k)$$

Costo → \$

Aves → Ocupación

Bienestar → Cosecha (kg/ha)

Contaminación (ins*Ha)

$$U(x_i) = \frac{[x_i - peor(x_i)]}{mejor(x_i) - peor(x_i)}$$

Redes de Creencias Bayesianas y función de utilidad

- Función de utilidad (decisiones multi-objetivo)

Utilidad ($aves_i$, $costo_j$, $bienestar_k$) =

$$W_{aves} * U(Aves_i) + W_{costo} * U(Costo_j) + W_{bienestar} * U(Bienestar_k)$$

*** Foco puesto en los valores del tomador de decisión**

Alternativas:

- *Elicitar valores del tomador de decisión*
- *Valoración Indiferente*
- *Perfiles de respuesta*

Valor Esperado de una Decisión (VE)

VE (Decisión 1) = **Valor del Objetivo X** * **Probabilidad Objetivo X**

$$VE(valor_{Di}) = \sum_x U(x) * probabilidad_{Di}(x)$$

Valor Esperado de una Decisión (VE)

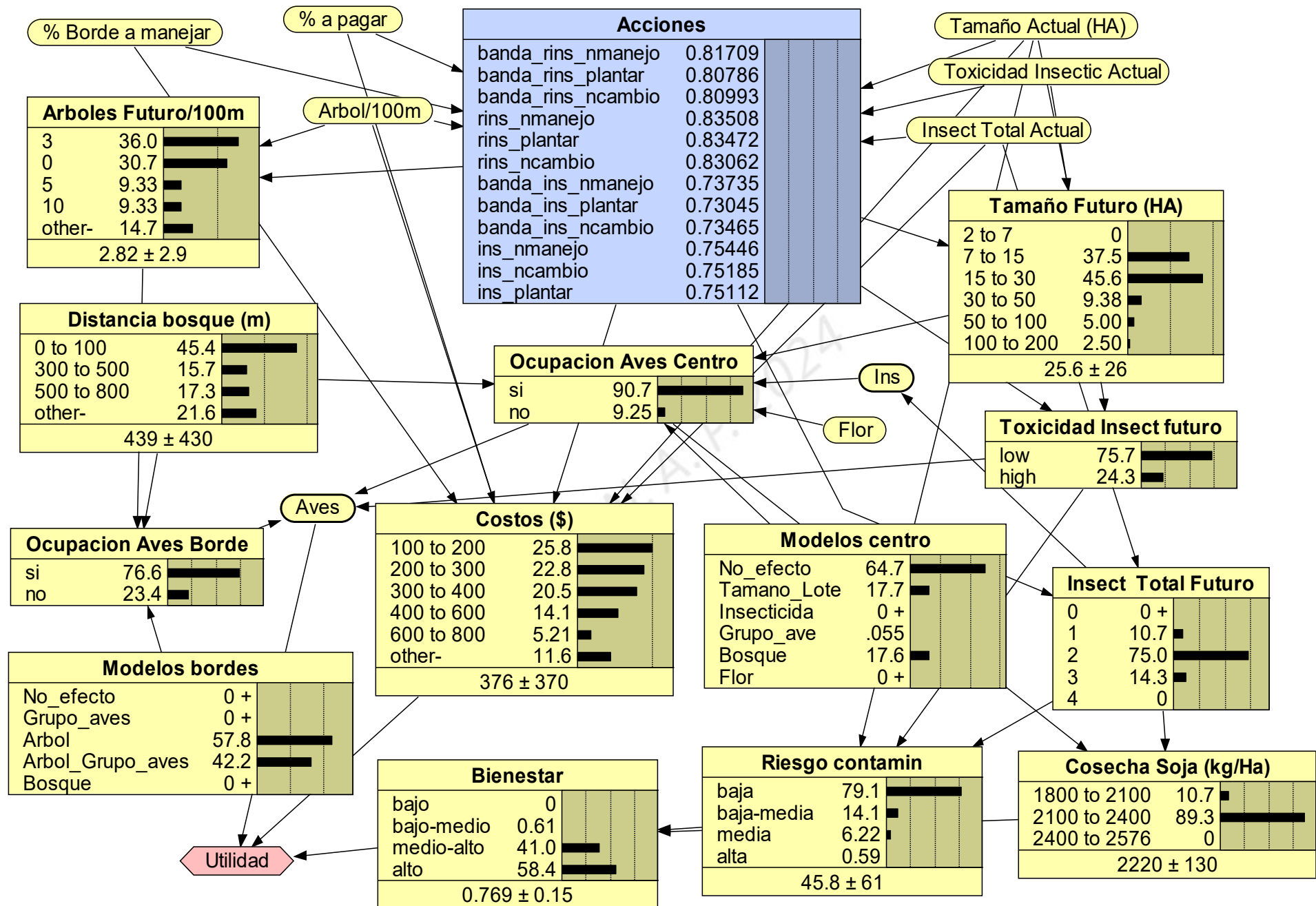
$$VE(valor_{Di}) = \sum_x U(x) * probabilidad_{Di}(x)$$

Decision i

Pr x



birds	wellbeing	cost (\$)	Utility
low	low	0 to 100	0.55474
low	low	100 to 200	0.51896
low	low	200 to 300	0.51743
low	low	300 to 400	0.53064
low	low	400 to 600	0.50104
low	low	600 to 800	0.50981
low	low	800 to 1000	0.45608
low	low	1000 to 2000	0.38859
low	low	2000 to 4000	0.10084



- National Conservation Training Center (NCTC), US Fish and Wildlife Service & USGS. Introduction to Structured Decision Making (Course material, presentations)
- Conroy, M.J. and J.T. Peterson. 2013. Decision Making in Natural Resource Management. A Structures, Adaptive Approach. Wiley-Blackwell. 456pp.
- Gregory, R., L. Failing, M. Harstone, G. Long. T. McDaniels, and D. Ohlson. 2012. Structures Decision Making. A Practical Guide to Environmental Management Choices. Wiley-Blackwell. 299pp.
- Goodwin, Paul, and George Wright. Decision Analysis for Management Judgment 4th ed. John Wiley and sons, 2009.
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. 1999. Smart choices: a practical guide to making better life decisions. Random House LLC.
- Rositano, F., & Ferraro, D. O. (2014). Ecosystem services provided by agroecosystems: A qualitative and quantitative assessment of this relationship in the Pampa region, Argentina. *Environmental management*, 53, 606-619.
- Rusch, V. E., Rusch, G. M., Goijman, A. P., Varela, S. A., & Claps, L. (2017). Ecosystem services to support environmental and socially sustainable decision-making. *Ecología austral*, 27(1), 162-176.
- Zaccagnini N. E., Goijman A. P., Conroy M. J., Thompson J. J. 2014. Toma de Decisiones Estructuradas y Manejo Adaptativo de Recursos Naturales y Problemas Ambientales en Ecosistemas Productivos. INTA Ediciones.