

Módulo 8

Decisiones bajo Incertidumbre

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

Toma de decisiones bajo incertidumbre

- **Red Bayesiana:** Red probabilística
- **Diagrama de influencia:** Red probabilística para razonar acerca de la toma de decisiones bajo incertidumbre

Representación gráfica de un problema de decisión

Representación compacta y representativa del conocimiento intuitivo probabilístico (red probabilística)

Cuantificación de la fortaleza de las relaciones de dependencia y preferencias del tomador de decisión

Diagrama de influencia es una Red Bayesiana “aumentada” con variables de decisión, funciones de utilidad especificando las preferencias del tomador de decisión.

¿Qué es la incertidumbre?

- Nuestra inhabilidad de expresar precisamente algunos elementos del problema de decisión
- Puede ser incertidumbre en los objetivos
- O en las predicciones (algo es desconocido total o parcialmente)
- Incertidumbre reducible vs. Irreducible

Una buena decisión no garantiza un resultado favorable, pero tiene en cuenta la incertidumbre para proveer la mejor chance de un resultado favorable

¿Por qué importa?

DECISION	BUEN RESULTADO	MAL RESULTADO
BUEN PROCESO	¡Éxito merecido!	Mala suerte ☹️
MAL PROCESO	Buena suerte 😊	Justicia divina...

Tipos de incertidumbre

Una clasificación...

- *Variación ambiental* (ej. clima)
- *Controlabilidad parcial*: falta de control sobre todos los factores cuando aplicamos una acción
- *Incertidumbre estructural*: Modelos predictivos, hipótesis
- *Observabilidad parcial*: Visión parcial de la realidad, incertidumbre estadística

Tipos de incertidumbre

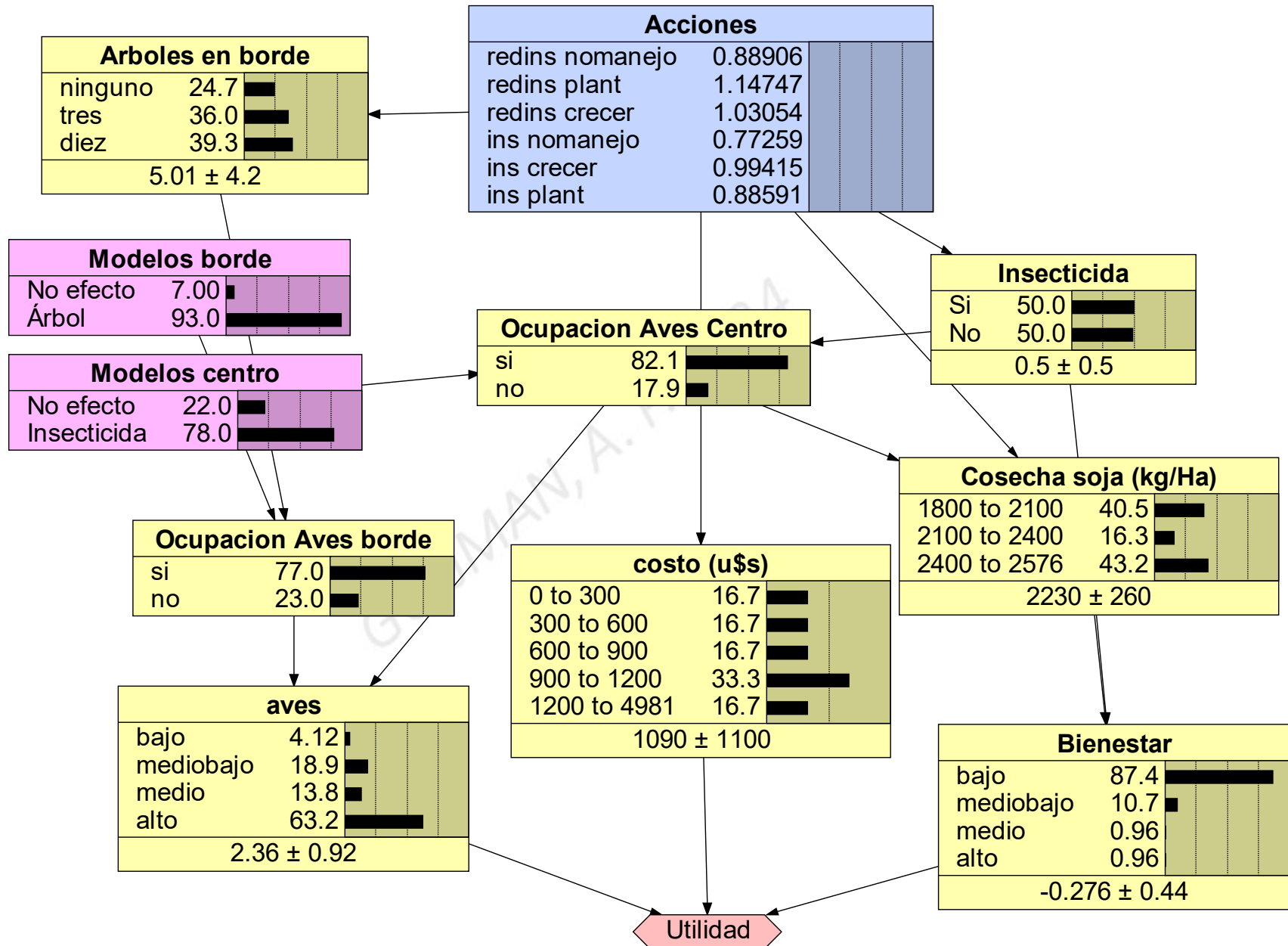
Otra...

- *Incertidumbre Lingüística*: dificulta el entendimiento
- *Incertidumbre Epistémica*: Es reducible y controlable
 - *Incertidumbre Estructural* (modelos-hipótesis)
 - *Observabilidad parcial* (estadística)
- *Incertidumbre Aleatoria*: Ambiental, demográfica etc. Irreducible, pero “modelable”

Incertidumbre Epistémica

- Existe el hecho, pero no lo conocemos exactamente
- Es reducible
- Fuentes:
 - Error de medición (ej. aleatorio, instrument, observador)
 - Incertidumbre de modelos:
 - Incertidumbre Estructural (modelos)
 - Incertidumbre Paramétrica (probabilidades)
 - Juicios subjetivos (ej. Interpretación de los datos)

Incertidumbre en las hipótesis



Incertidumbre en el conocimiento experto

Fig. 7.19 The variable Experts has one state for each expert

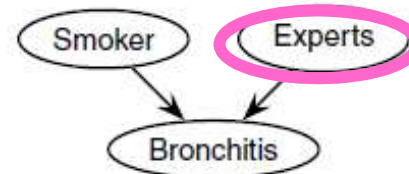
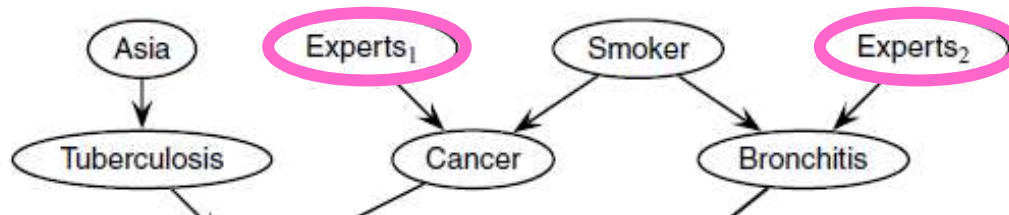


Table 7.13 The specification of the conditional probability distribution
 $P(\text{Bronchitis} | \text{Smoker}, \text{Experts})$

TPC

Experts	Smoker	Bronchitis	
		false	true
bill	false	0.7	0.3
bill	true	0.4	0.6
john	false	0.8	0.2
john	true	0.3	0.7



Kjaerulff, U. B., & Madsen, A. L. (2008)

- Ponderación por el grado de expertise de los expertos (autovaloración)

$$x = \sum wX / \sum w$$

x promedio ponderado; X probabilidad; w nivel de expertise de cada entrevistado

Evaluando Incertidumbre

Análisis de Sensibilidad

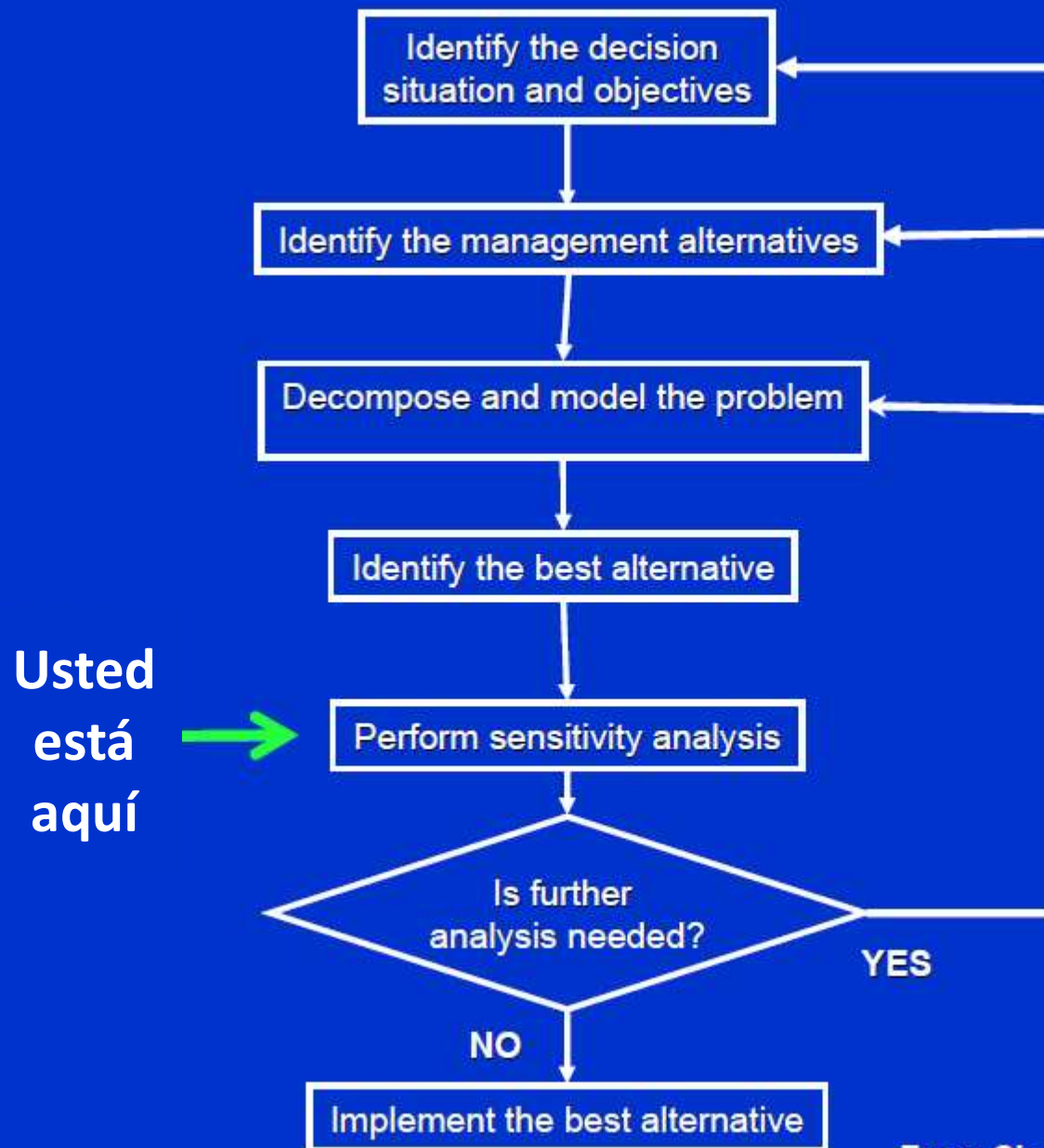
El análisis de sensibilidad es necesario para evaluar la importancia de la incertidumbre en los problemas de decisión (o compromisos entre variables).

¿Cuánto afecta la incertidumbre a la elección de la mejor alternativa?

¿Confío en la decisión o tengo que colectar más información?

Variar los valores en de cada atributo y examinar los efectos sobre atributo deseado, o la decisión.

Puede ser considerada una forma de validación del modelo (Rykiel 1996)



From Clemen and Reilly 2001

Análisis de Sensibilidad

Idea principal:

Variar los valores de cada parámetro y examinar el efecto de los “outputs” deseados o de la decisión

Distintos tipos:

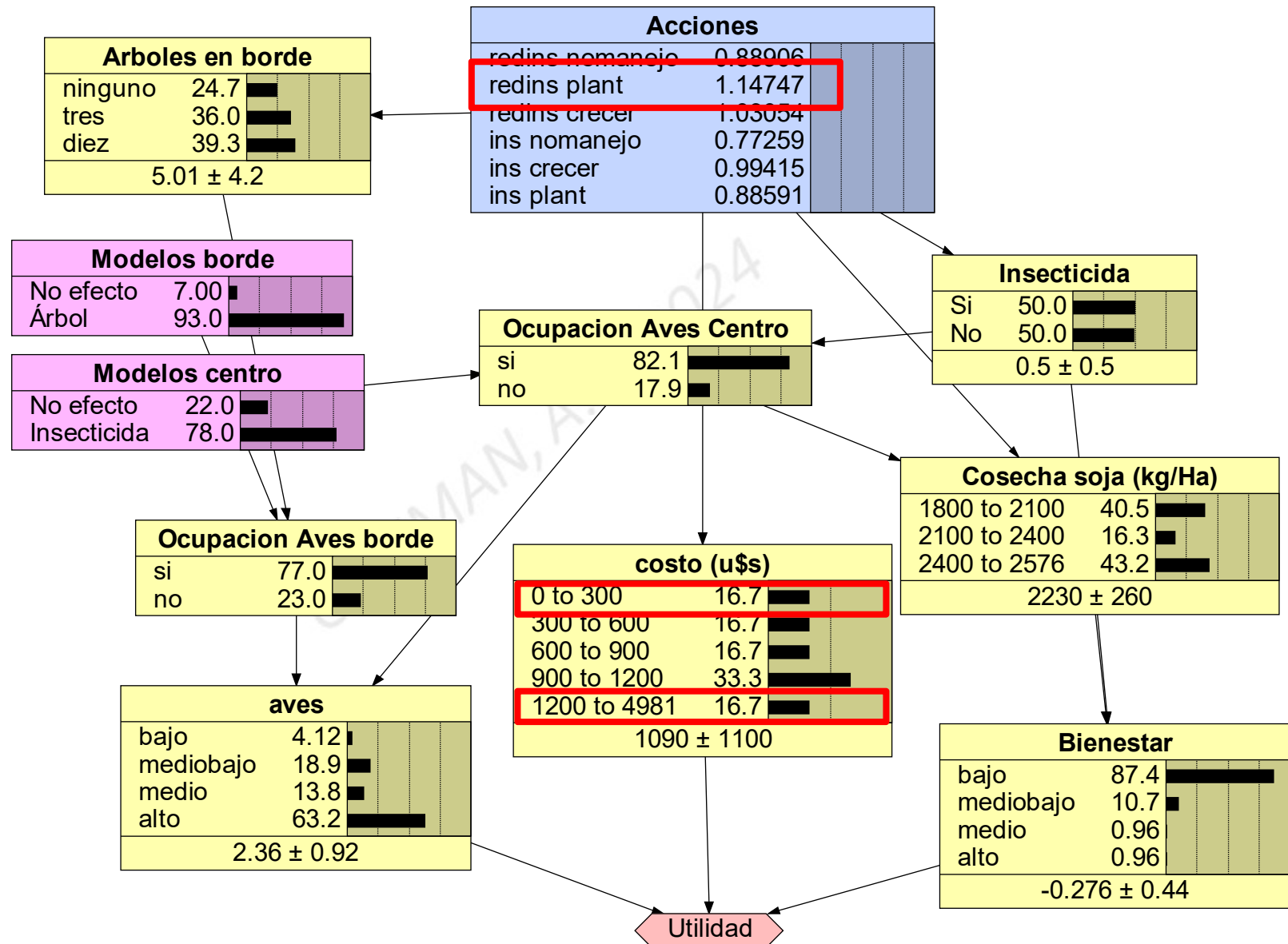
- **Análisis de sensibilidad de una vía**
- **Análisis de sensibilidad de dos vías**
- **Perfiles de respuesta**
- **Curvas de indiferencia**

No hay un único método que se el mejor para evaluar la sensibilidad del modelo

Análisis de Sensibilidad – una vía

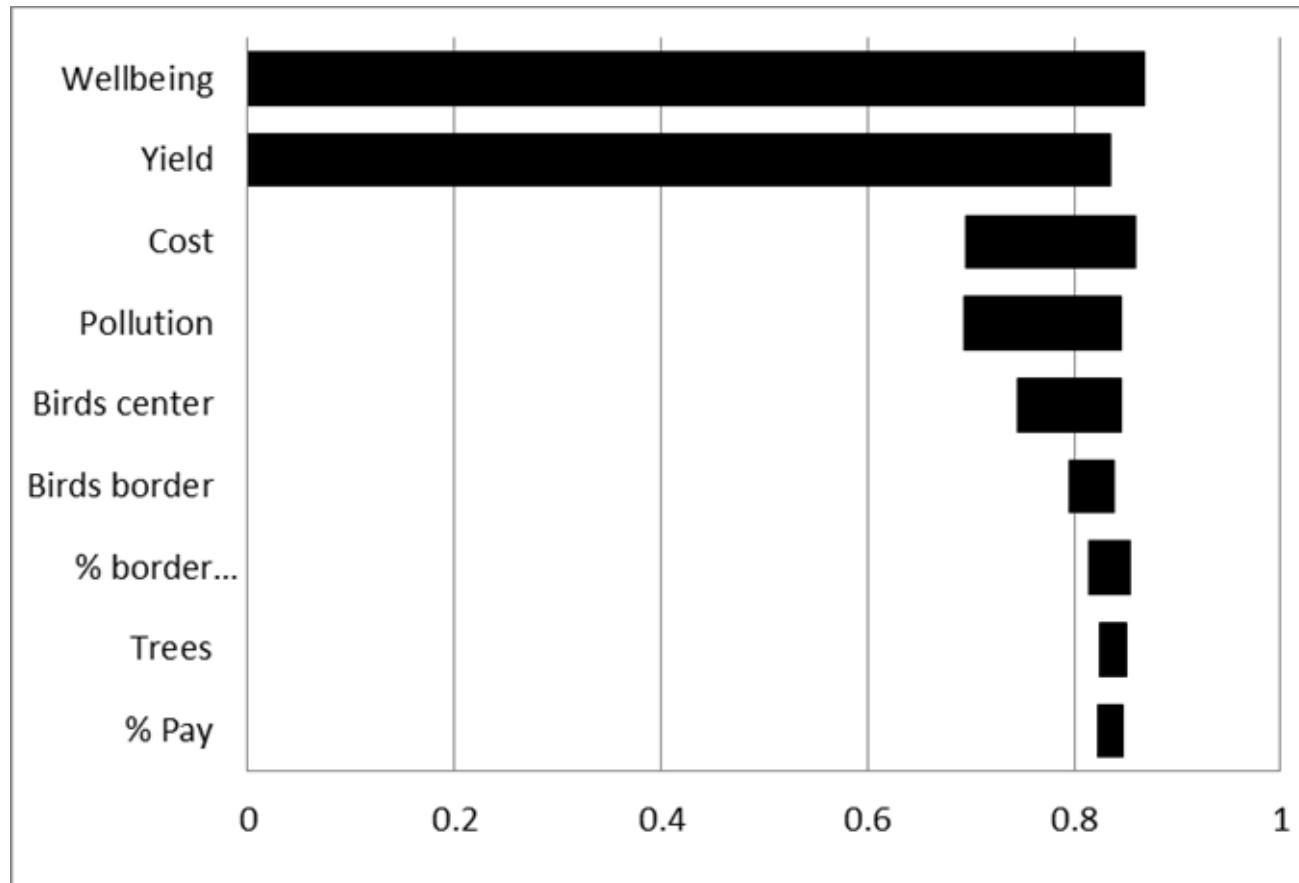
- Es el análisis de **cuán sensible** es el resultado de una actualización de creencias (propagación de la evidencia) **a variaciones en el valor de un parámetro** del modelo.
- Podemos saber cuán sensible es la conclusion de un modelo a las probabilidades a priori de otro parámetro.
 - ✓ **Análisis de sensibilidad sobre parámetros** (Análisis de sensibilidad de una vía)
 - ✓ **Análisis de sensibilidad sobre decisiones** (Perfiles de respuesta)

Análisis de Sensibilidad – una vía (sobre decisión)



Análisis de Sensibilidad – una vía

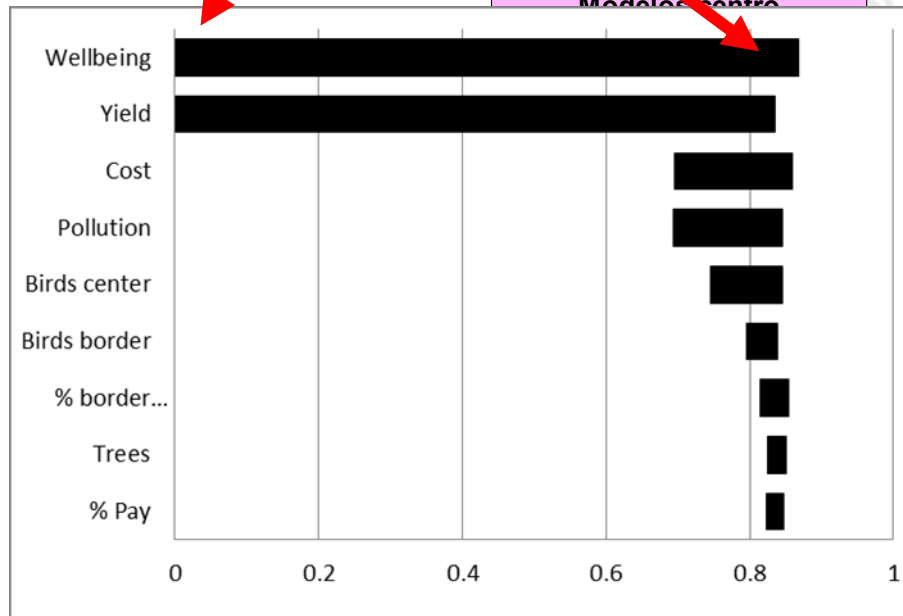
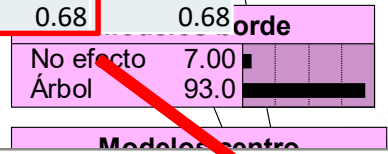
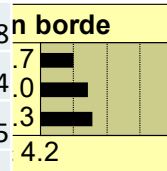
Diagrama de tornado



**D: Reducir insecticidas
& plantar árboles nativos**

Análisis de Sensibilidad – una vía (parámetros)




High environmental health	bajo	diff	alto
Width	0.422	0.056	0.478
Cost	0.3982	0.116	0.5142
Models	0.3551	0.1229	0.478
Current trees	0.215	0.439	0.654
Tree decision	0.2146	0.4354	0.65
Bird occupancy	0	0.69	0.69
New trees	0	0.68	0.68



Acciones					
redins nomanejo	0.88906				
redins plant	1.14747				
redins crecer	1.03054				
ins nomanejo	0.77259				
ins crecer	0.99415				
ins plant	0.88591				

Insecticida				
Si	50.0			
No	50.0			
		0.5 ± 0.5		

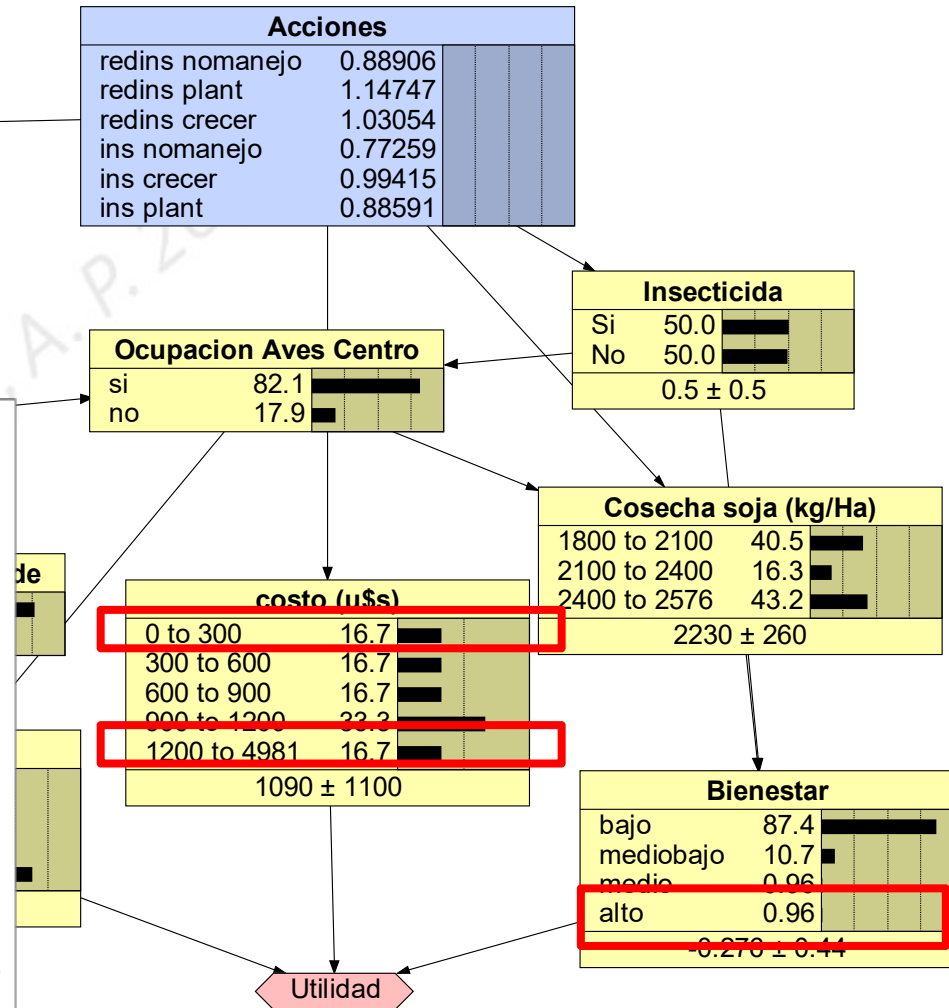
Ocupacion Aves Centro		
si	82.1	
no	17.9	

Cosecha soja (kg/Ha)			
1800 to 2100	40.5		
2100 to 2400	16.3		
2400 to 2576	43.2		
2230 ± 260			

costo (u\$s)	
0 to 300	16.7
300 to 600	16.7
600 to 900	16.7
900 to 1200	33.3
1200 to 4981	16.7
1090 ± 1100	

Bienestar	
bajo	87.4
mediobajo	10.7
medio	0.96
alto	0.96

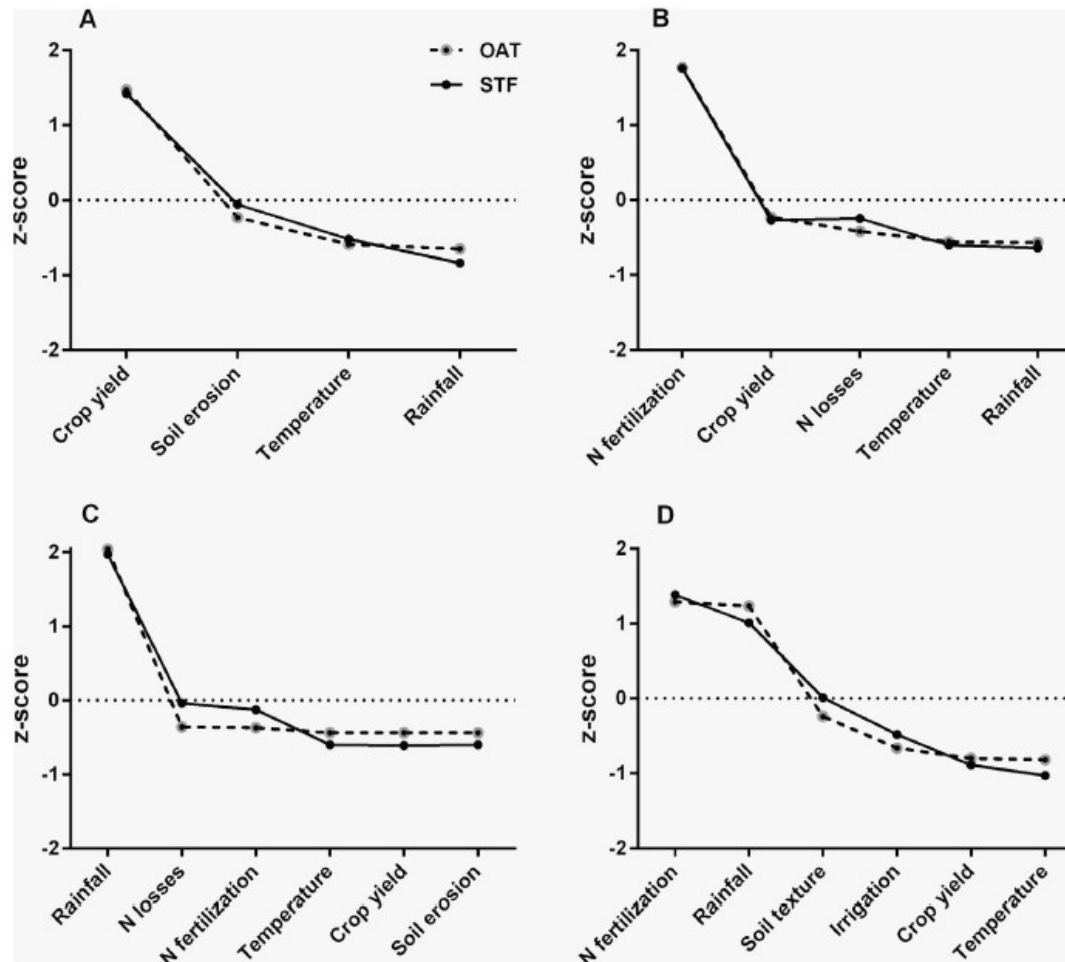
-0.276 ± 0.44



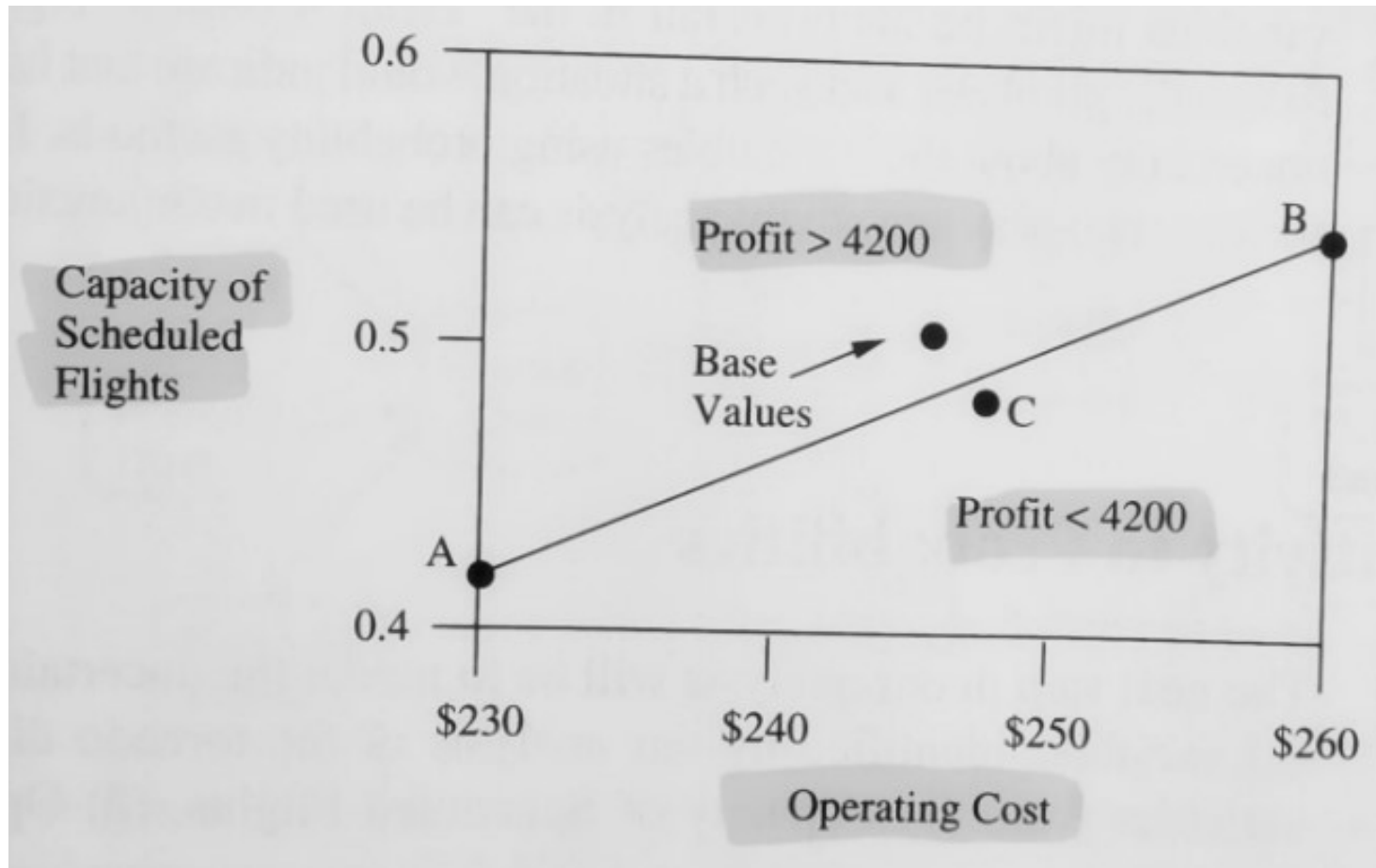
Análisis de Sensibilidad

Una-via vs Sensitivity to findings (Netica)

- Ambos análisis detectan cambios de a una variable

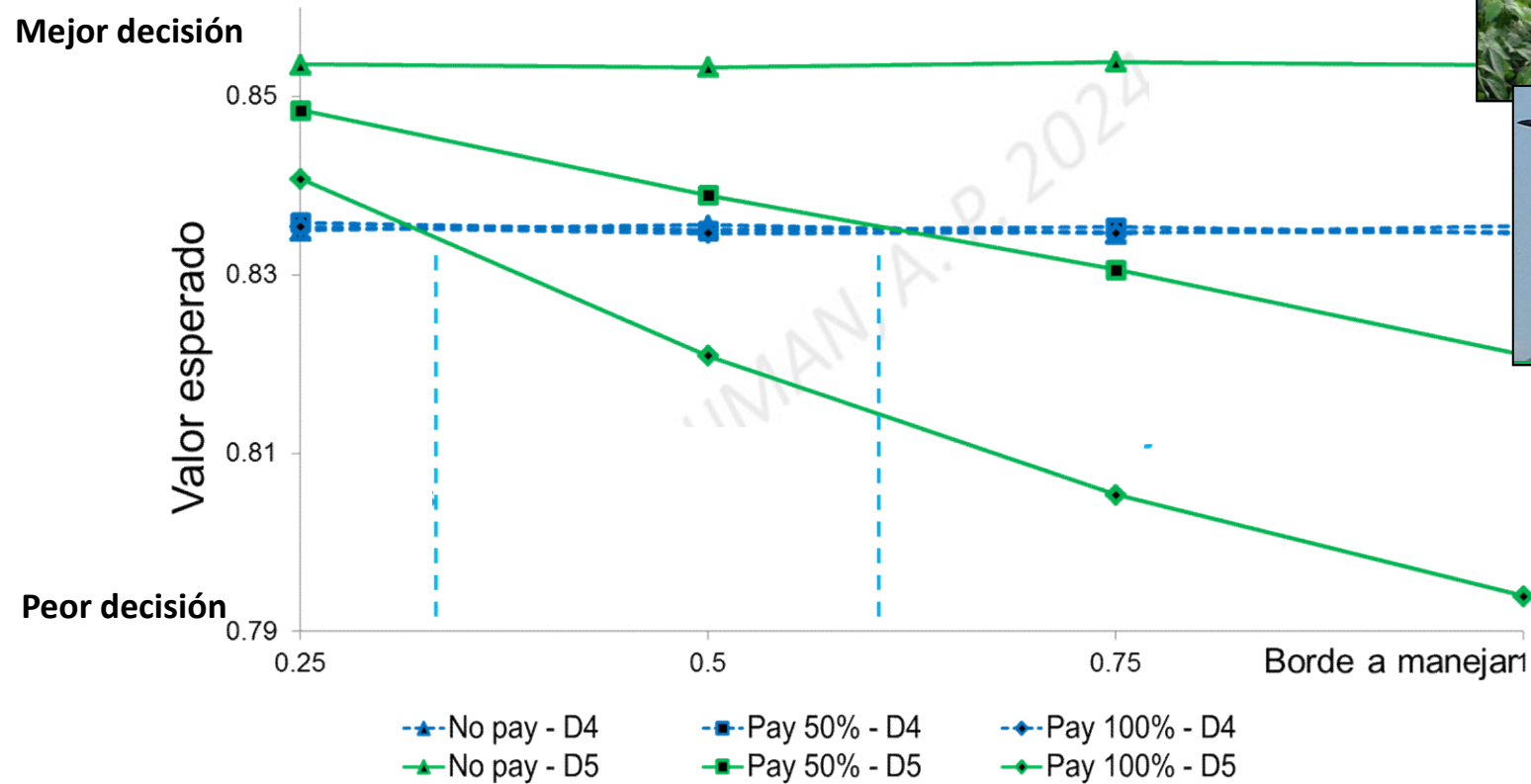


Análisis de Sensibilidad – dos vías



Análisis de Sensibilidad – perfiles de respuesta

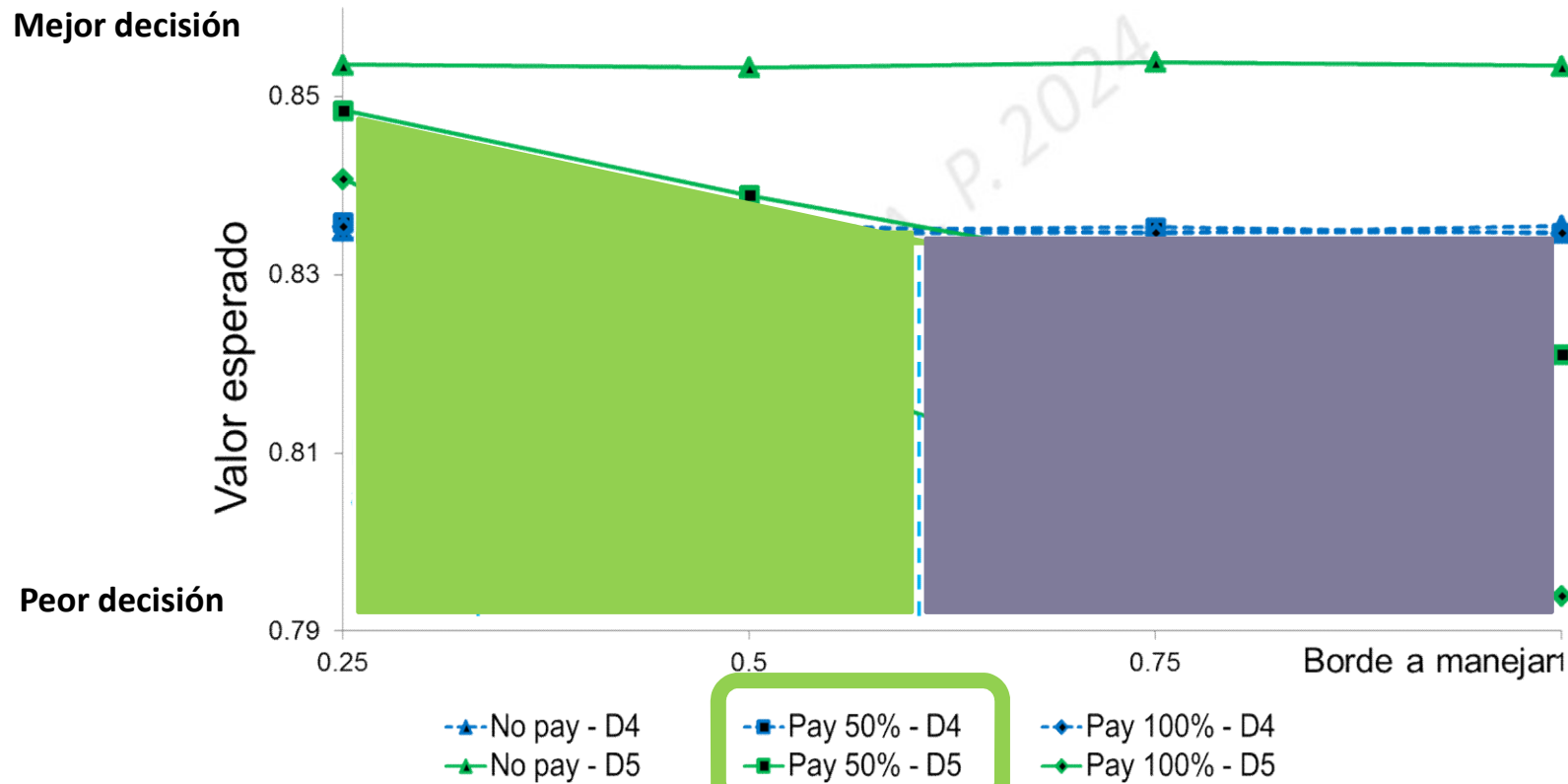
Sensibilidad de decisiones a componentes del modelo



Análisis de Sensibilidad – perfiles de respuesta

D5: Plantar árboles en todo el borde y Minimizar Insecticidas

D4: No manejar los bordes y Minimizar Insecticidas

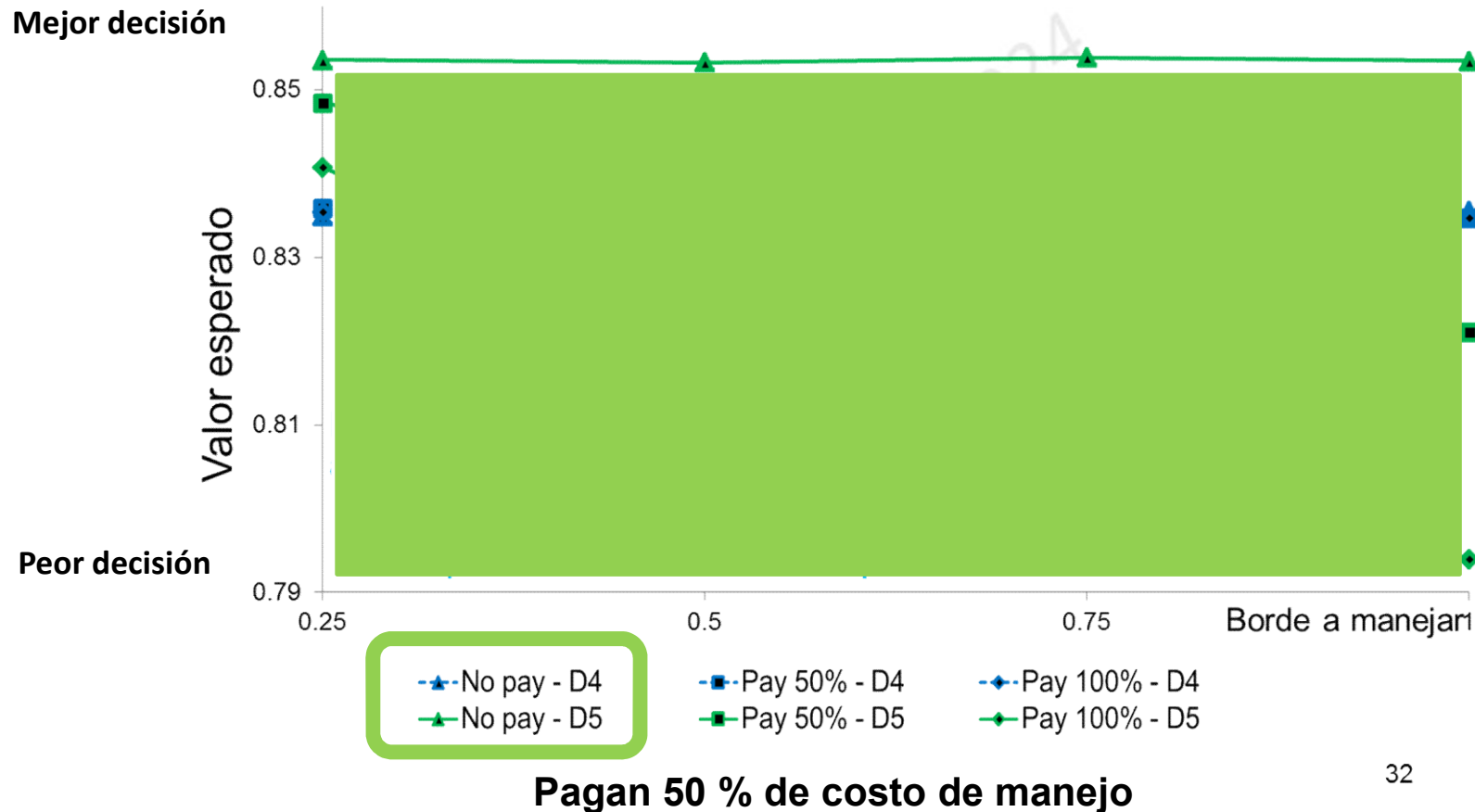


Pagan 50 % de costo de manejo

Análisis de Sensibilidad – perfiles de respuesta

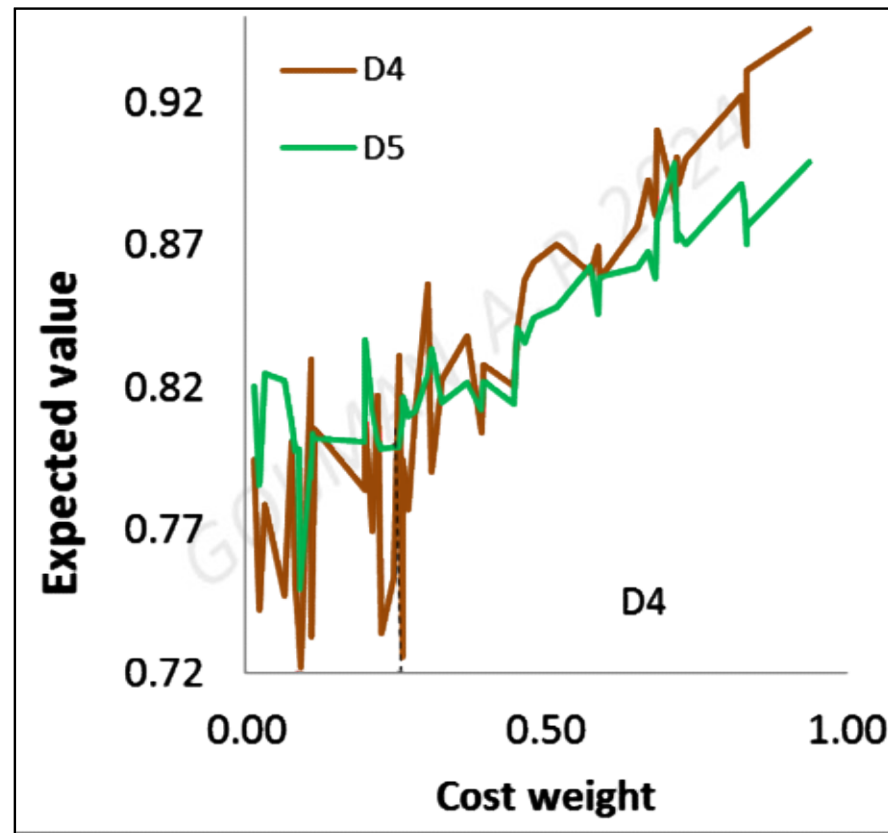
D5: Plantar árboles en todo el borde y Minimizar Insecticidas

D4: No manejar los bordes y Minimizar Insecticidas



Análisis de Sensibilidad – curvas de indiferencia

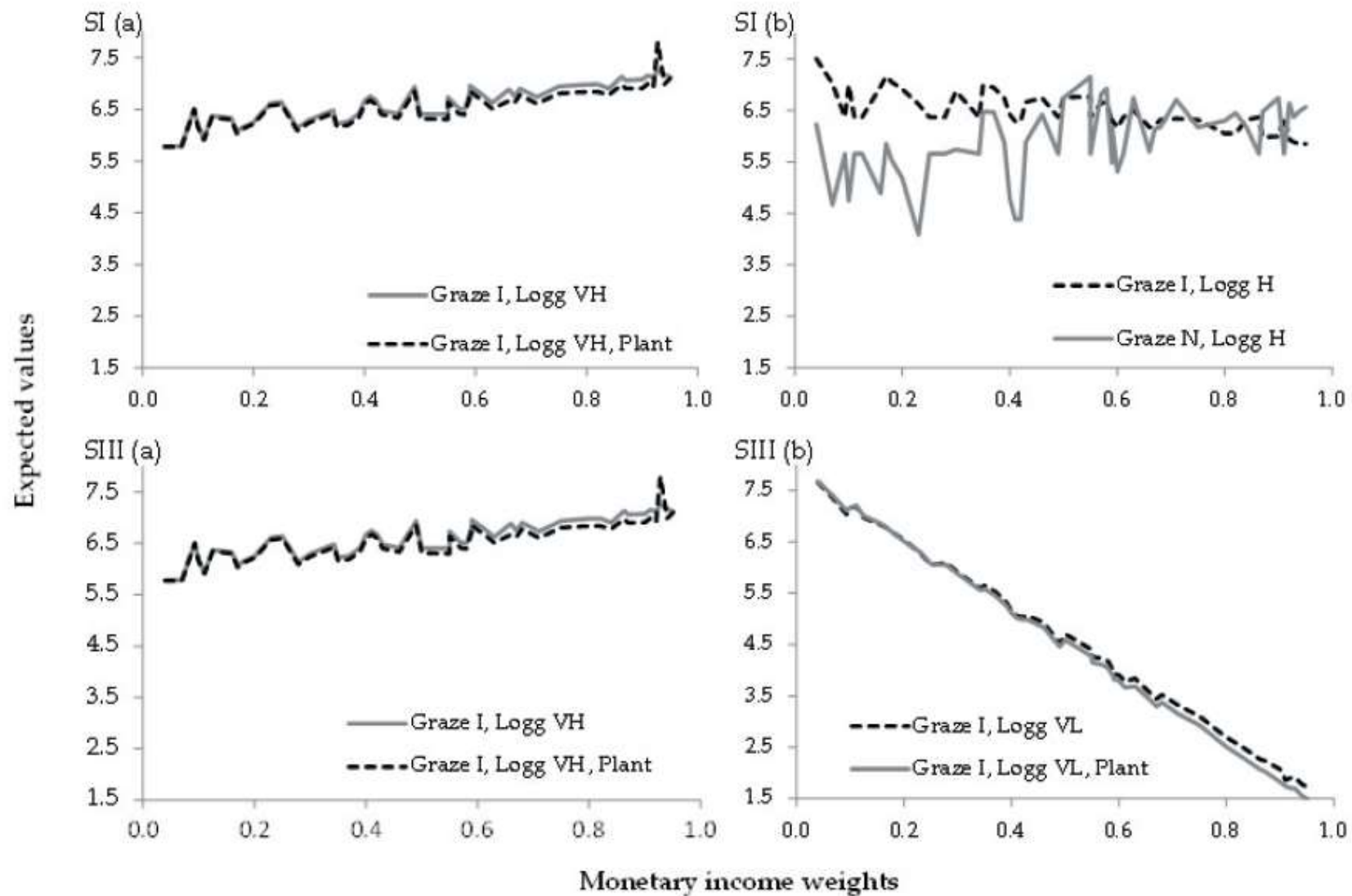
Utilizadas para evaluar compromisos cuando se consideran múltiples objetivos
Ayuda a identificar valores para los cuales el tomador de decisión es “indiferente”



Reducir insecticidas & dejar bordes sin manejo

Reducir insecticidas & plantar árboles nativos

Análisis de Sensibilidad – curvas de indiferencia



Curvas de indiferencia de la utilidad esperada para dos decisiones de manejo probables para el bosque de *N. antarctica* en los estados alternativos SI y SIII en relación a los ingresos a: a) muy corto, y b) muy largos horizontes de decisión. Abreviaturas, en la Tabla 1.

Rusch et al (2016)

Reduciendo incertidumbre a través de monitoreo

Monitoreo

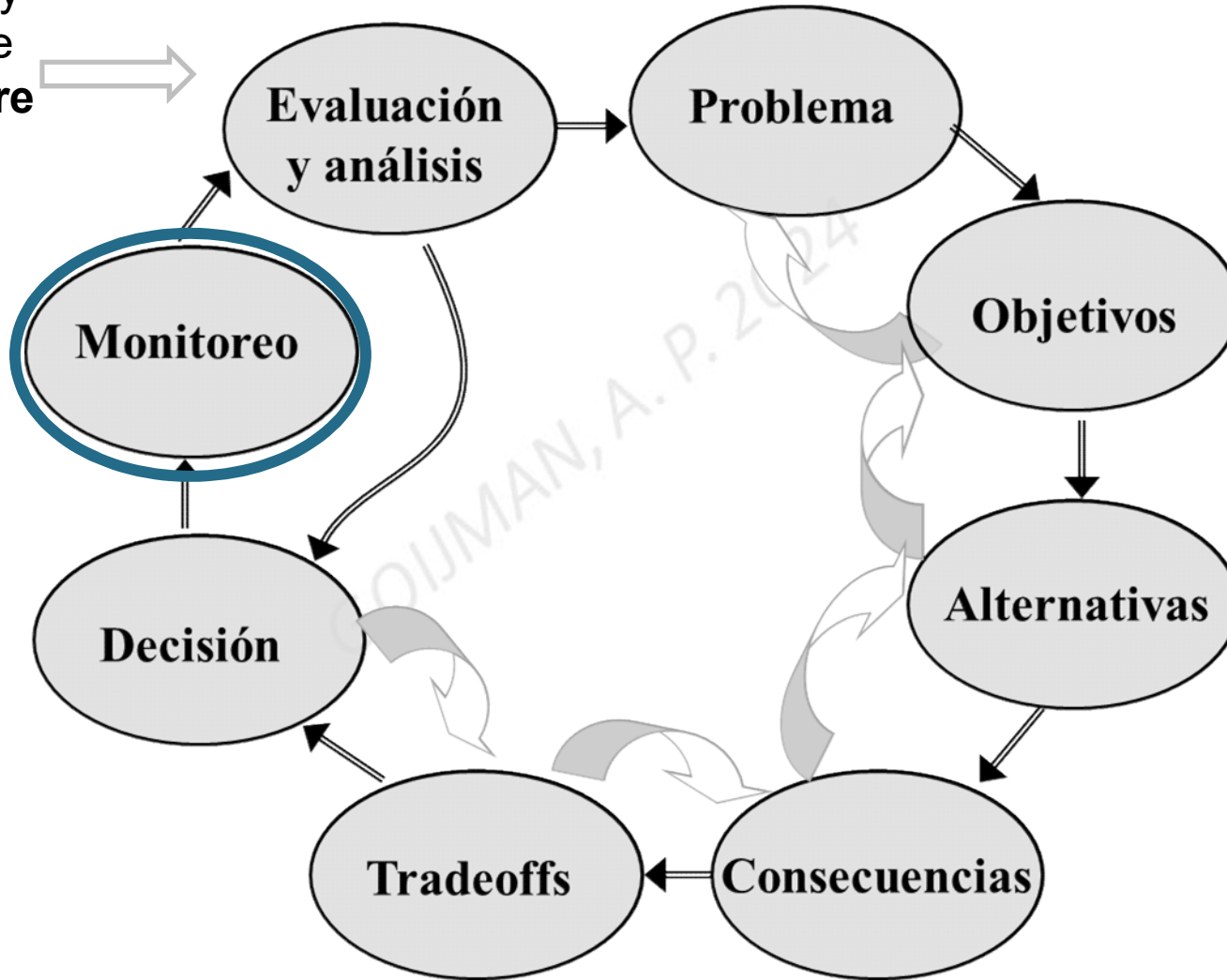
- Por lo general siempre buscamos más información, y muchas veces posponemos una decisión hasta tener más información.
- Generalmente buscamos más información para reducir la incertidumbre
- Pero podemos preguntarnos ¿esta información va a cambiar nuestra decisión? ¿la información es relevante para la decisión?

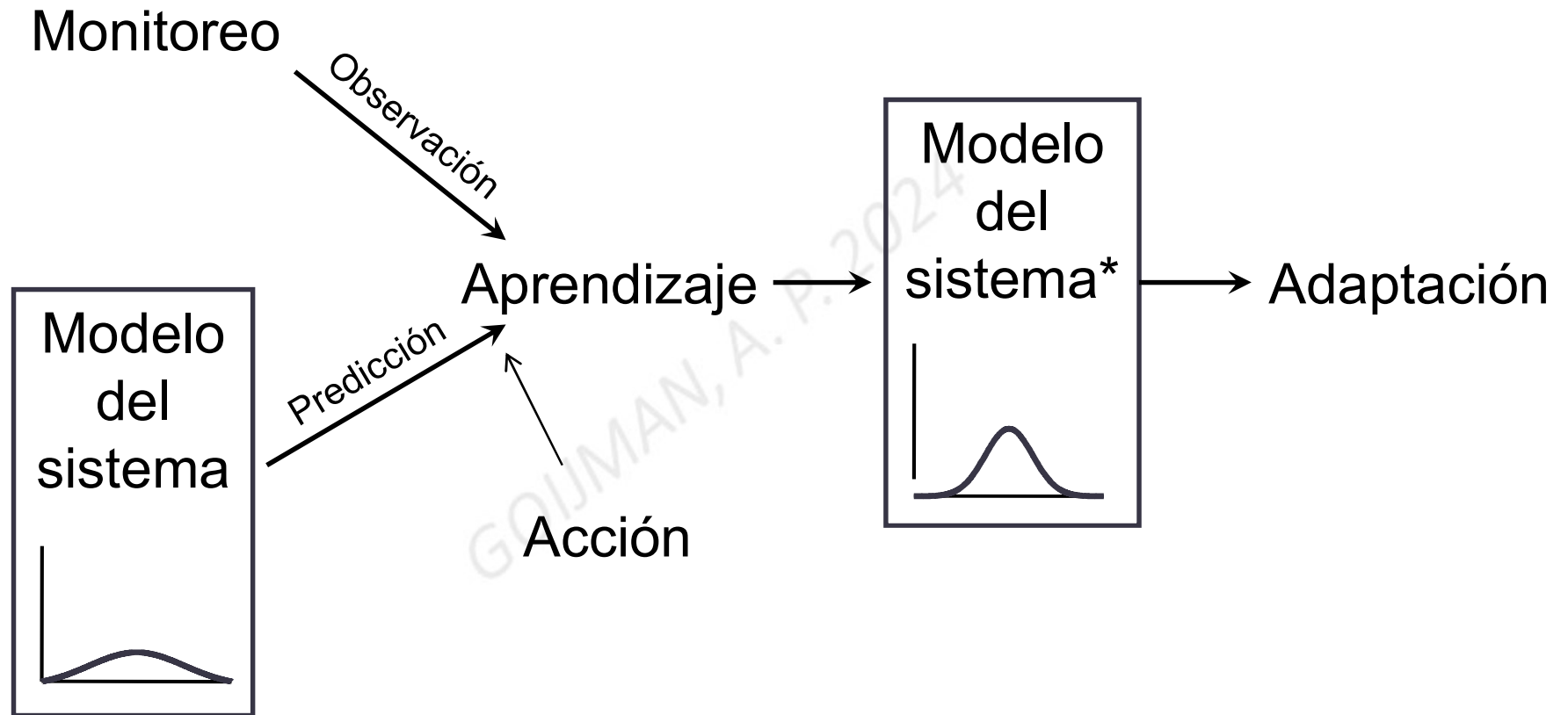
Manejo Adaptativo

- Forma de lidiar con la **incertidumbre** inherente al funcionamiento de ecosistemas naturales y alentar el **aprendizaje** y la efectividad de acciones de **manejo**.
- **Enfoque sistemático** para mejorar los resultados de manejo de recursos, explorando **alternativas** basadas en el conocimiento presente, y **monitoreando** los impactos del manejo para luego **actualizar el conocimiento**.
- Es un pilar en iniciativas de manejo ecológico, como un medio para el manejo responsable ante condiciones de incertidumbre.
- Una barrera ha sido conectar el manejo adaptativo con la toma de decisiones: Enfoques anteriores enfatizaban el diseño de experimentos, protocolos de muestreo, pero **no reconocían que los problemas de manejo tienen objetivos múltiples**.

Manejo Adaptativo

Aprendizaje y reducción de **incertidumbre** importante





- National Conservation Training Center (NCTC), US Fish and Wildlife Service & USGS. Introduction to Structured Decision Making (Course material, presentations)
- Clemen, R. T., & Reilly, T. (1999). *Making hard decisions with DecisionTools Suite*. Duxbury.
- 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.
- Hammond, J. S., Keeney, R. L., & Raiffa, H. 1999. Smart choices: a practical guide to making better life decisions. Random House LLC.
- Kjaerulff, U. B., & Madsen, A. L. (2008). Bayesian networks and influence diagrams. *Springer Science+ Business Media*, 200, 114.
- 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.
- Rositano, F., Piñeiro, G., Bert, F. E., & Ferraro, D. O. (2017). A comparison of two sensitivity analysis techniques based on four bayesian models representing ecosystem services provision in the Argentine Pampas. *Ecological informatics*, 41, 33-39.
- Rykiel Jr, E. J. (1996). Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological modelling*, 90(3), 229-244.
- 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.