

Módulo 2

Introducción a las Redes Bayesianas y la Toma de Decisiones

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

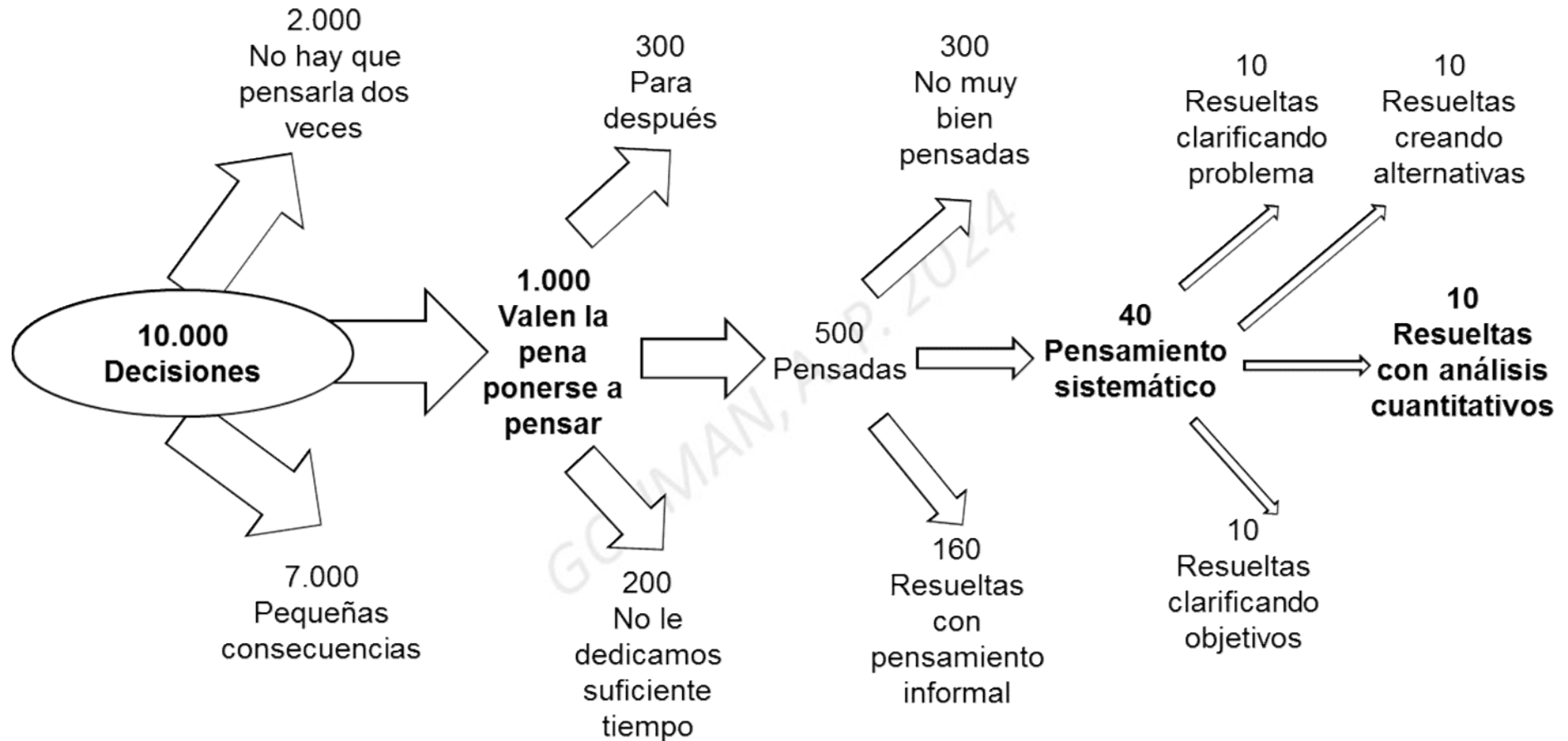


CONICET

MENDOZA

CCT CONICET Mendoza 13 - 17 Mayo 2024

Todos somos tomadores de decisión



Zaccagnini et al 2014 - Adaptado de Keeney 2004. Making better decision makers. Decision Analysis 1:193-204.

¿Qué es una decisión?

- Elegir una acción entre alternativas
- Más que una preferencia, es decidir *que hacer de manera consciente*
- Un compromiso de recursos



Sistema experto de toma de decisiones bajo incertidumbre

- Se puede asociar a sistemas que realizan razonamientos y toma de decisiones mediante redes probabilísticas
- Se construye una red probabilística para *resolver un problema específico* dentro de un dominio de problema dado (área de experiencia).
- La motivación suele ser automatizar alguna tarea que implique actualización de creencias y *toma de decisiones bajo incertidumbre*, posiblemente implicando la extracción de información/conocimiento a partir de datos.

Redes Bayesianas

Un tipo de red probabilística

Dos componentes (proceso de construcción en dos fases):

ESTRUCTURA + PARÁMETROS

- Representación gráfica de relaciones dependientes e independientes entre variables aleatorias
- Puede representar muchas situaciones de la vida diaria
- Distintos caminos para construir la estructura de una red probabilística (**componente cualitativo**)
- Los parámetros y su modelización (**componente cuantitativo**)

Redes probabilísticas

- **Red Bayesiana:** Red probabilística gráfica para actualización de creencias para inferencia y análisis de relaciones probabilísticas
- **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.

Características principales de una red bayesiana

- Representación gráfica de **relaciones causales** entre entidades (variables)
- La fuerza en las relaciones probabilísticas son representadas por **probabilidades condicionales**
- Las **preferencias** son representadas como **utilidades** en una escala numérica (escenarios de decisión)
- Las **recomendaciones** son basadas en el principio de **máxima utilidad esperada** (valor esperado de la decisión)

Motivación

- Representación intuitiva y compacta de **relaciones** causales entre entidades del dominio de un problema
- Estas entidades son representadas con **variables discretas mutuamente exclusivas y exhaustivas**, de posibles valores (o como variables continuas)
- Podemos **manejar la incertidumbre**
- Construcción y adaptación de **modelos** basados en datos
- Representación de **relaciones causa-efecto** y relaciones dependientes (condicionales) e independientes

Pasos para la construcción

1. Identificar las relaciones causales, funcionales o informacionales entre las variables (Red Conceptual)

ESTRUCTURA + PARÁMETROS

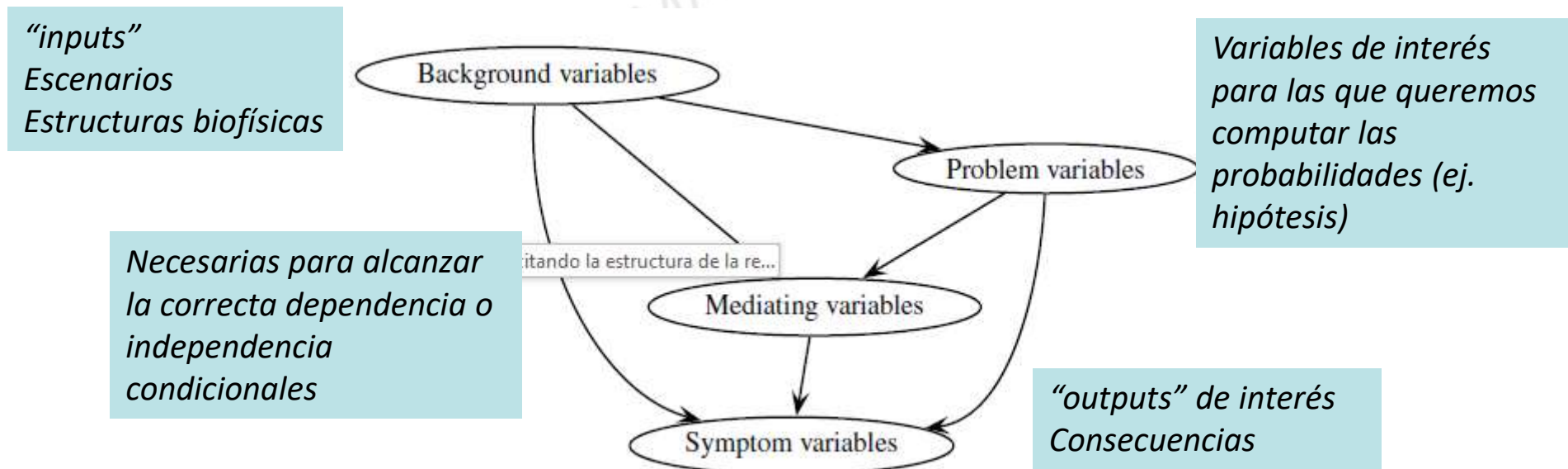
2. Luego de su revisión, chequeo de independencia condicionales y verificación de la direccionalidad de las relaciones, se “elicitán” (consultan) los valores de los parámetros (parametrización)

Elicitando la estructura de una red conceptual

Ejemplo 1: Aproximación básica general

1. Set inicial de variables identificadas dentro del dominio de un problema
2. Identificar y verificar las relaciones causales:

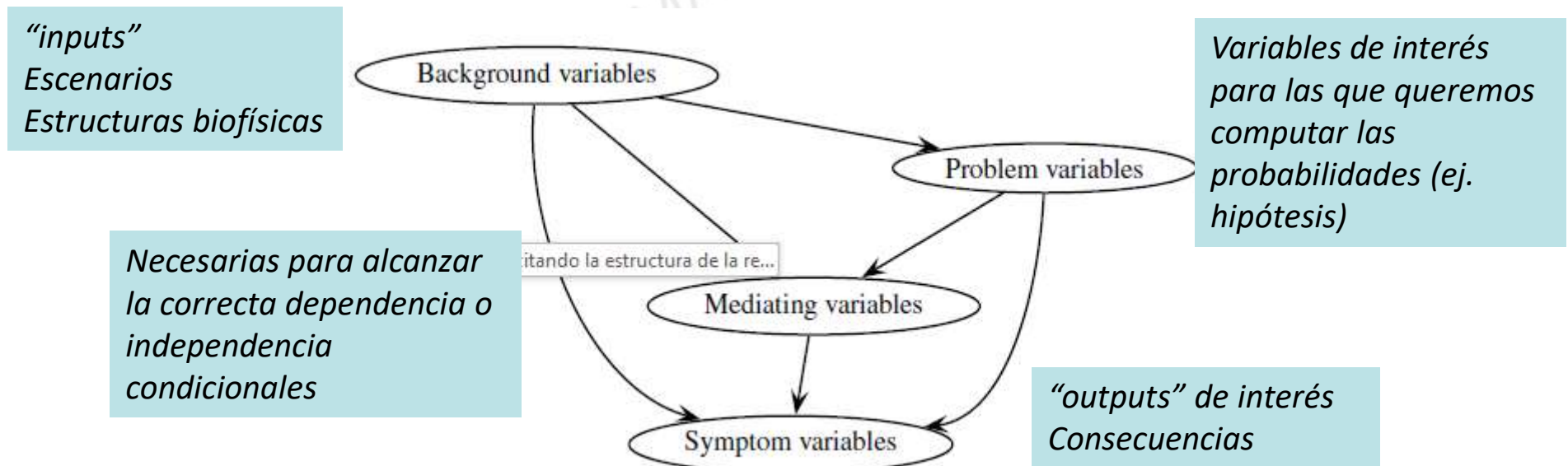
Mantener la perspectiva causal en el proceso de construcción es valioso al momento de representar correctamente las relaciones dependientes e independientes y para obtener las probabilidades condicionales del modelo.



Elicitando la estructura de una red conceptual

Table 6.1 Typical causal dependence relations for different variable classes

Type	Causally influenced by
Background variables	None
Problem variables	Background variables
Mediating variables	Background and problem variables
Symptom variables	Background, problem, and mediating variables

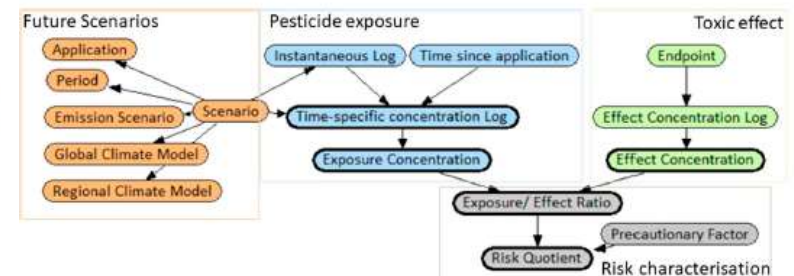
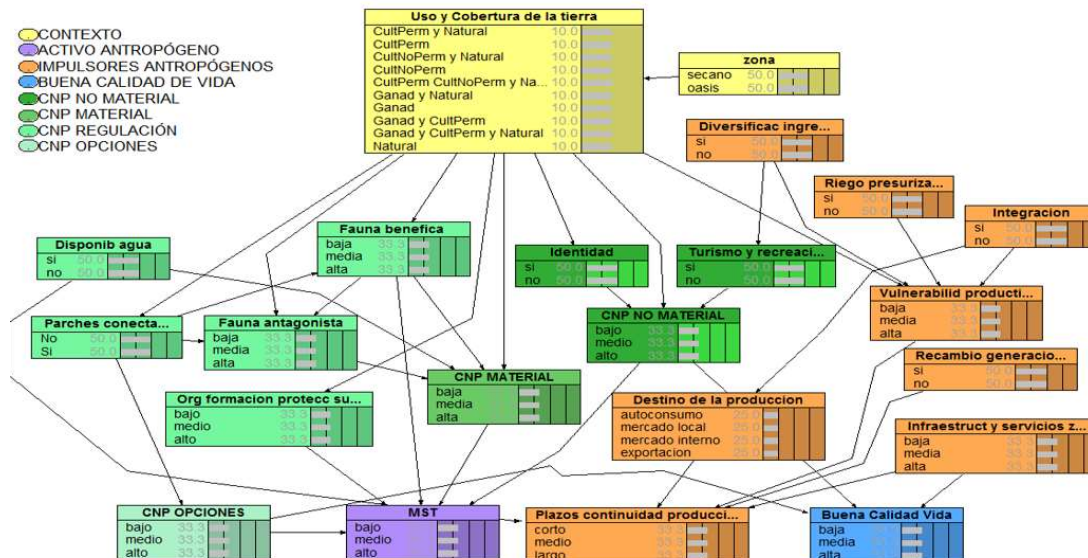


Ejercicio Armado de una Red Conceptual

Consigna

- Nos dividimos en 4 grupos
- Elegir un proyecto en el que quieran trabajar (15 min.)
- Elaborar una red conceptual donde se incluyan las variables del problema (30 min)
- Exposición y discusión grupal (60 minutos)

(ej. ¿Fue sencillo el armado de la RC? ¿Encontraron limitantes para armar la RC?)



Elicitando la estructura de una red conceptual

Ejemplo 2: Manejo estratégico de daños por vertebrados



(Sonia Canavelli, 2023)

MANEJO ESTRATÉGICO DE DAÑOS

¿ EN QUÉ CONSISTE EL MANEJO ESTRATÉGICO DE DAÑOS POR FAUNA SILVESTRE?

```
graph LR; 1[1. DEFINIR EL PROBLEMA] --> 2[2. ESTABLECER OBJETIVOS MEDIBLES]; 2 --> 3[3. DESARROLLAR UN PLAN DE ACCIÓN]; 3 --> 4[4. REALIZAR UNA EVALUACIÓN DE RIESGOS/SUPUESTOS]; 4 --> 5[5. PONER EL PLAN EN ACCIÓN]; 5 --> 6[6. MONITOREAR Y EVALUAR LOS RESULTADOS]; 6 --> 7[7. MODIFICAR LOS PASOS EN BASE A LA EVALUACIÓN]; 7 --> 7a[Si es necesario cambiar]; 7a --> 4; 7a --> 2a[Re-evaluar los riesgos/supuestos]; 2a --> 2; 7a --> 3a[Revisar las acciones]; 3a --> 3; 7a --> 1a[Revisar los objetivos]; 1a --> 1; 7a --> 1b[Redefinir el problema]; 1b --> 1;
```

El diagrama de flujo ilustra el método de gestión de riesgos en siete pasos:

1. DEFINIR EL PROBLEMA
2. ESTABLECER OBJETIVOS MEDIBLES
3. DESARROLLAR UN PLAN DE ACCIÓN
4. REALIZAR UNA EVALUACIÓN DE RIESGOS/SUPUESTOS
5. PONER EL PLAN EN ACCIÓN
6. MONITOREAR Y EVALUAR LOS RESULTADOS
7. MODIFICAR LOS PASOS EN BASE A LA EVALUACIÓN

El proceso incluye un ciclo de retroalimentación que se activa al finalizar el paso 6. Si es necesario cambiar, se re-evalúan los riesgos/supuestos (paso 4), se revisan las acciones (paso 3), se revisan los objetivos (paso 2) o se redefine el problema (paso 1).

Braysher (1993, 2017), Olsen (1998)

Elicitando la estructura de una red conceptual

Ejemplo 3: Teoría del cambio (TOC)





Descripción gráfica y exhaustiva de PORQUÉ y CÓMO un cambio deseado se espera que ocurra en un contexto en particular

ORÍGENES	Ciencias Sociales. Mediados de los '90 ⇨ Revisión crítica de Iniciativas Integrales Comunitarias ('CCI')
SUPUESTOS	Una buena TOC debe ser: <ol style="list-style-type: none">1. Plausible (lógica, evidencia & sentido común).2. Realizable (plazos, recursos económicos & recursos humanos)3. 'Testeable' (indicadores de cambio monitoreables)
PROPUESTA Y ELEMENTOS	Abordaje en EQUIPO TRANSDISCIPLINARIO . Enfocarse en la meta y los cambios intermedios necesarios para alcanzarla. Realizar un mapeo retrospectivo de <u>meta, intervenciones/actividades, responsables, indicadores, supuestos, barreras y resultados (cambios intermedios)</u> .
VINCULACIÓN ENTRE ACTORES	La iniciativa TOC es liderada por el EQUIPO . <i>"Articular una teoría de cambio a través de un proceso colectivo y colaborativo está tan plagado de dificultades como lleno de promesas"</i> (Connell & Kubisch, 1998)

(Pablo Gáspero, 2023)

Elicitando la estructura de una red conceptual

Ejemplo 3: Teoría del cambio (TOC)

PRECONDICIÓN 2		
EJEMPLO: Ensayos de desarrollo y validación de prácticas de mitigación del impacto socio-económico de la depredación, bajo condiciones cuasiexperimentales y procedimientos de co-innovación e IAP en el Departamento Pilcaniyeu (Río Negro) ["Fase 1"]		
Supuestos 	Condiciones de contexto que influyen sobre la TOC pero que no podrán ser modificadas por la TOC.	
Barreras 	Condiciones de contexto que podrían obstaculizar la iniciativa TOC.	
Indicador 2.D 	Cambio esperado	[RESULTADO 2.D]⇒ ¿QUÉ cambio queremos provocar?
	Descripción	¿CÓMO se monitoreará la intervención?
	Parámetros	¿CUÁL será nuestra "unidad de medida" del cambio?
	Población objetivo	¿A QUIÉNES involucrará el cambio?
	Magnitud/umbral	¿De CUÁNTO pretendemos que sea el cambio?
	Territorio objetivo	¿DÓNDE pretendemos que suceda el cambio?
	Plazo	¿CUÁNDO pretendemos que suceda el cambio?
Intervención 2.D 	Explican las actividades que se ejecutarán para alcanzar el cambio esperado [ASIGNACIÓN EXPLÍCITA DE RESPONSABILIDADES]	
Actores/Participantes	¿QUÉ MIEMBROS DEL EQUIPO serán responsables de la intervención?	

RELACIÓN CAUSAL



ENTRADAS & INSUMOS



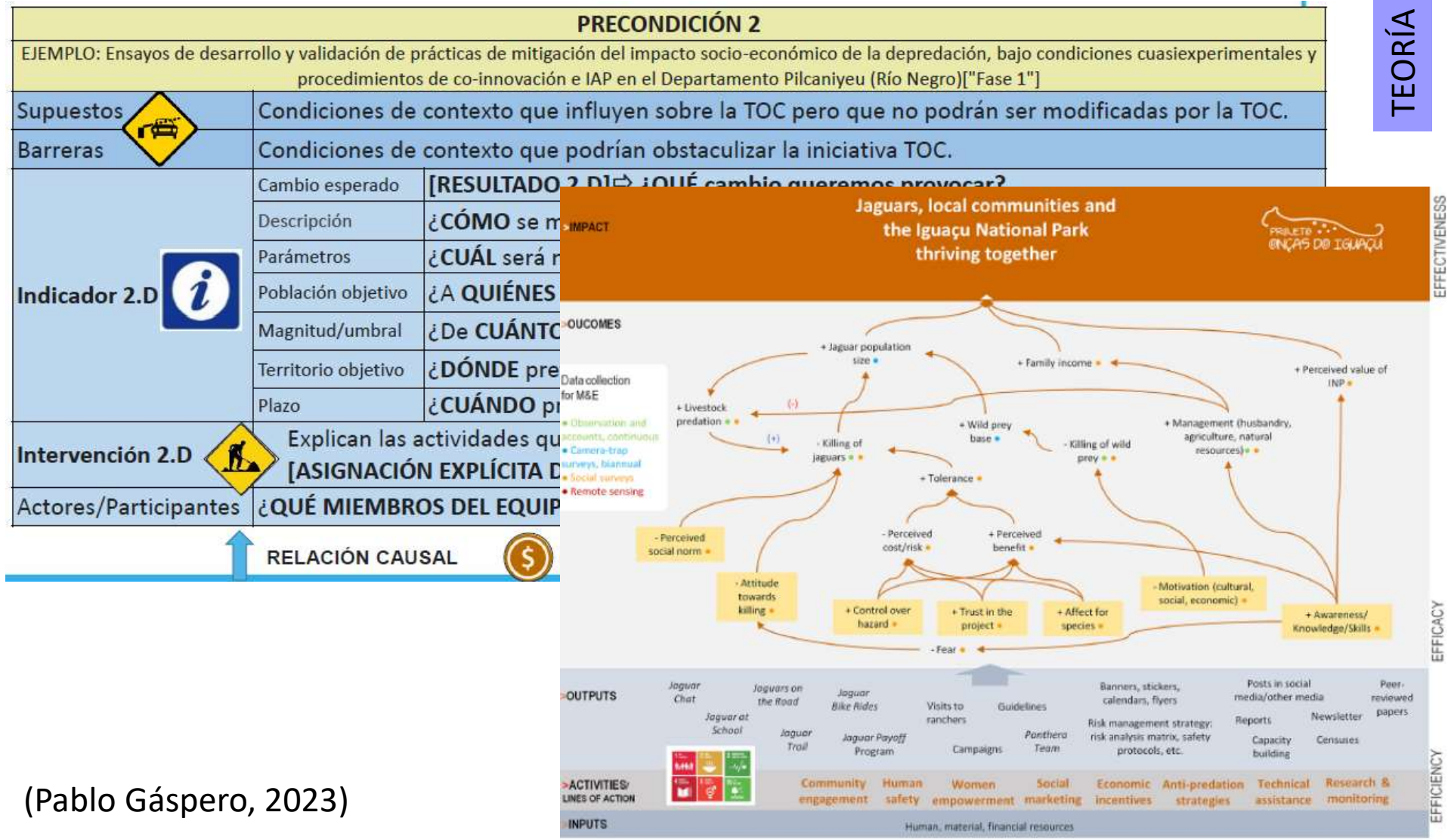
PRODUCTOS



(Pablo Gáspero, 2023)

Elicitando la estructura de una red conceptual

Ejemplo 3: Teoría del cambio (TOC)

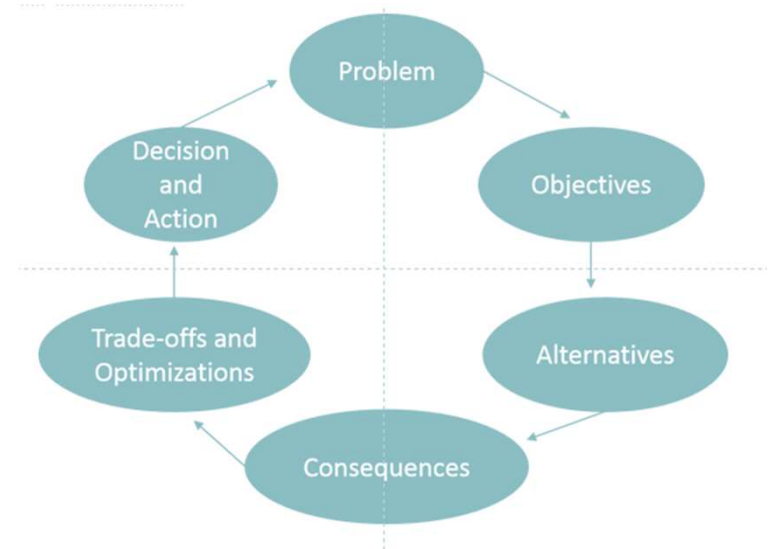


(Pablo Gáspero, 2023)

Elicitando la estructura de una red conceptual

Ejemplo 4: *Toma de decisiones estructuradas (TDE)*

- Diferente a toma de decisiones intuitiva, que evalúa inmediatamente alternativas:
 - **guiada por objetivos**
 - **conecta decisiones a objetivos**
- Disciplina mental, manera rigurosa de analizar decisiones
 - **Pensamiento sistemático**



Elicitando la estructura de una red conceptual

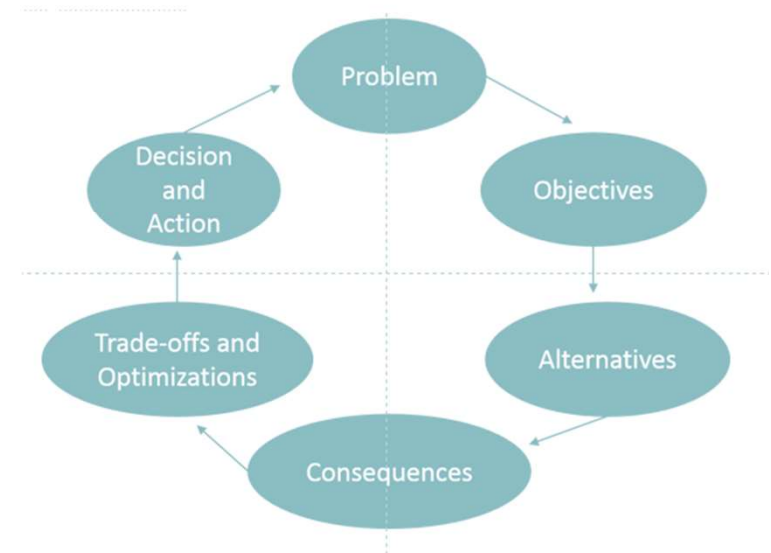
Ejemplo 4: *Toma de decisiones estructuradas (TDE)*

- Enfoque organizado para identificar y evaluar opciones creativas y tomar elecciones en situaciones de decisión complejas.
- Toma elementos de la teoría de decisión, ecología aplicada, análisis de riesgos y otros campos, con ideas sobre sujetos humanos, comportamiento, dinámica de grupos, etc.
- Facilita la toma de decisiones de manera transparente, lógica y consistente e informa a tomadores de decisión (no prescribe soluciones).
- *Enfoque integrador*: Posiblemente se puede aplicar a cualquier problema de decisión ambiental a cualquier escala y nivel de complejidad social e institucional.

Elicitando la estructura de una red conceptual

Ejemplo 4: *Toma de decisiones estructuradas (TDE)*

- Capacidad y flexibilidad para utilizar escenarios y modelos para informar sobre las implicancias de cualquier intervención o futuro.
- Valioso en situaciones con valores y puntos de vista distintos sobre las consecuencias de varios cursos de acción debido a la incertidumbre
- Clara separación de hechos con los valores
- Simplifica la complejidad técnica y social que dificulta la mayoría de los problemas de decisión del mundo real
- Basado en **análisis de decisión**



¿Por qué análisis de decisión?

- Provee una base solida para alcanzar el desafío de formar mejores tomadores de decisión.
- Se basa en el sentido común (ej. objetivos, alternativas, consecuencias y compromisos) que la mayoría de la gente entiende
- Simplifica las decisiones separándolas en partes, pero las sobre simplifica ignorando la complejidad
- Aplica a todas las decisiones

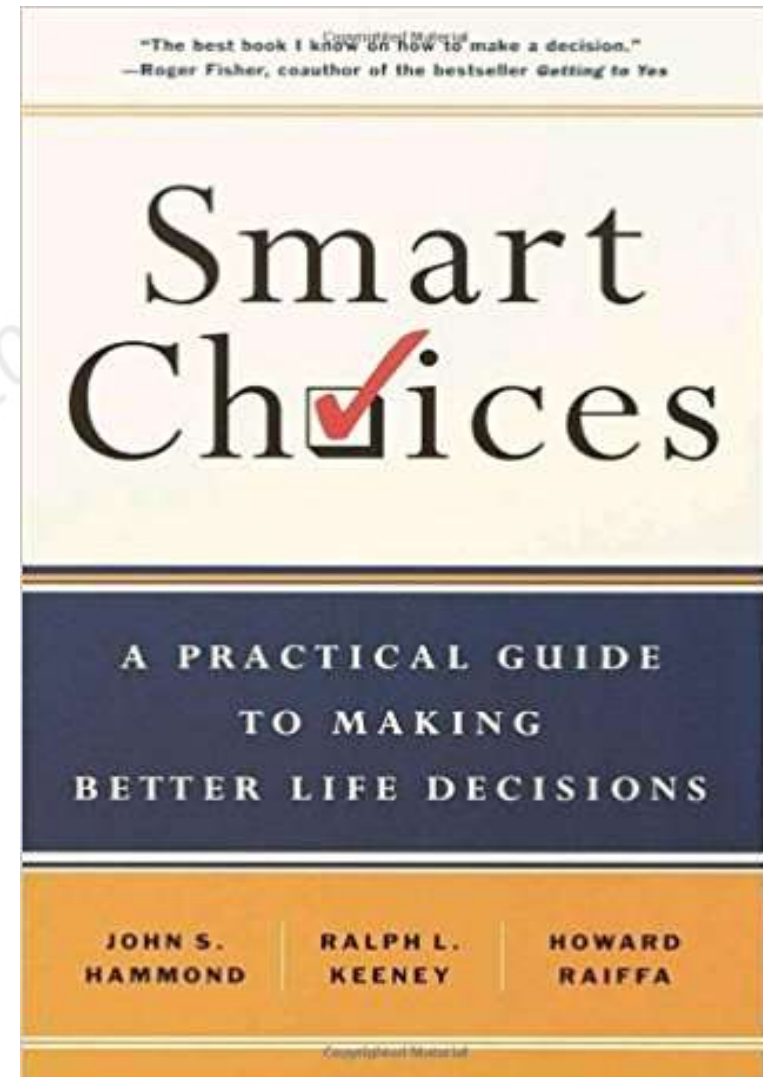
¿Por qué necesitamos un enfoque estructurado para la toma de decisiones de recursos naturales?

- Evitamos enfoques *ad hoc* y llegar a soluciones con métodos no científicos
- Usamos un método formal y repetible
- Prácticamente cualquier problema de manejo:
 - *Seleccionar la ubicación de una reserva natural nueva*
 - *Como y si se debe mitigar el impacto de las turbinas de viento sobre la mortalidad de aves*
 - *Si se debe usar control letal en una especie invasora exótica, y que tipo de control*
 - *Que practicas de manejo debo utilizar en viñedos para aumentar la provisión de servicios ecosistémicos por la vegetación nativa*

- Ayuda a **comunicar**.
- Identifica la elección que **más probablemente** alcance los objetivos
- Ayuda a **identificar donde existen los impedimentos** para tomar decisiones, para focalizar en el lugar correcto
- Guía a tomadores de decisión acerca de cuan bien sus objetivos pueden ser satisfechos por potenciales **cursos de acción alternativos**.
- Clarifica **compromisos irreducibles**
- Provee de una guía a través de un **proceso sistemático** donde un problema es descompuesto en un set de **componentes** de la decisión, donde cada cual puede ser explorado con un rango de **herramientas** provenientes del **análisis de decisión** cualitativas y/o cuantitativas.

Inicios

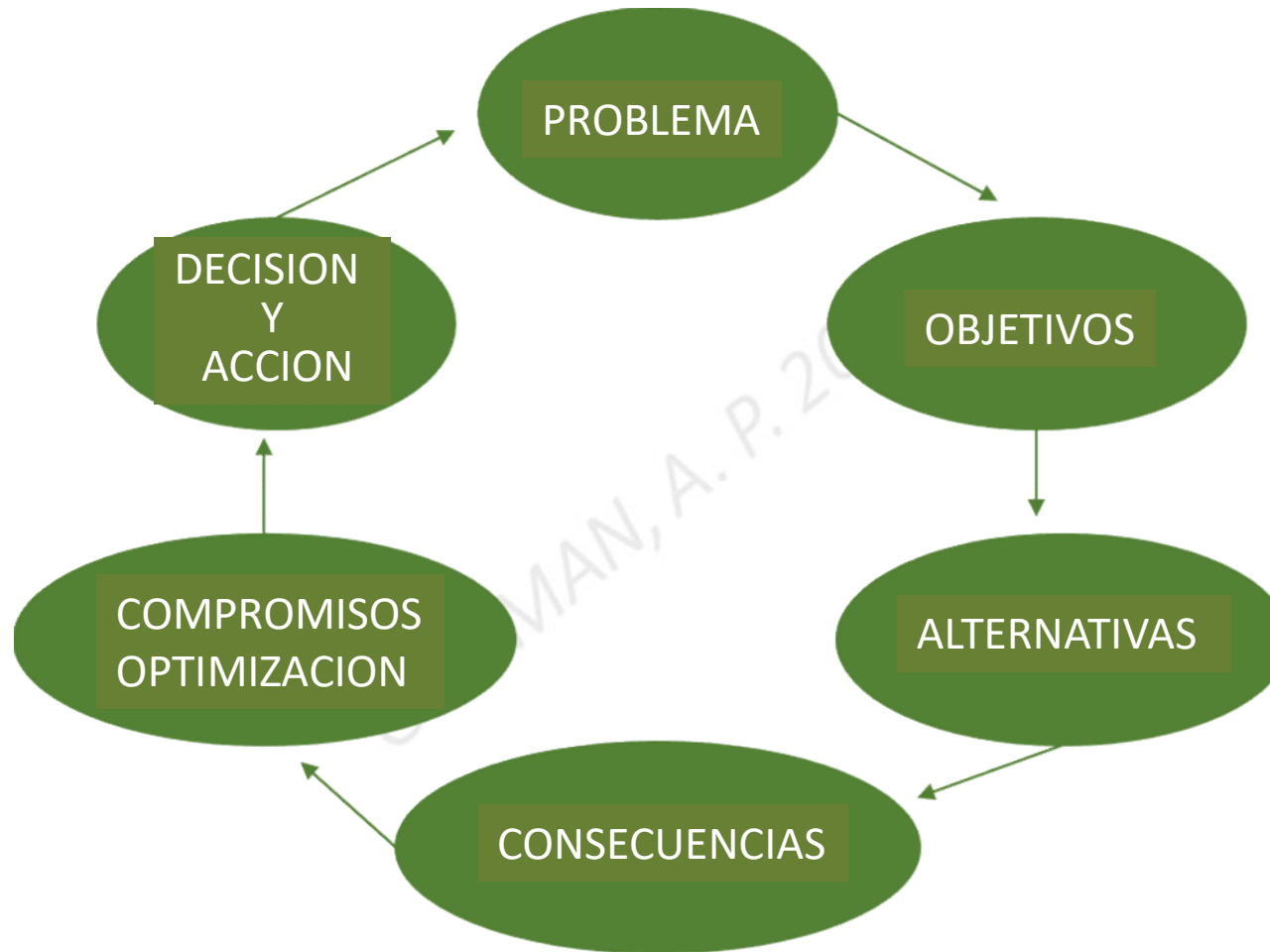
- Fines de 1980 emerge la teoría de decisión como enfoque aplicado a la biología de conservación
- Mismos principios utilizados por largo tiempo en medicina y negocios
- Hammond et al. 1999 – Lenguaje simple y accessible.
- Proceso de hacer explícito el sentido común



Toma de Decisiones Estructuradas

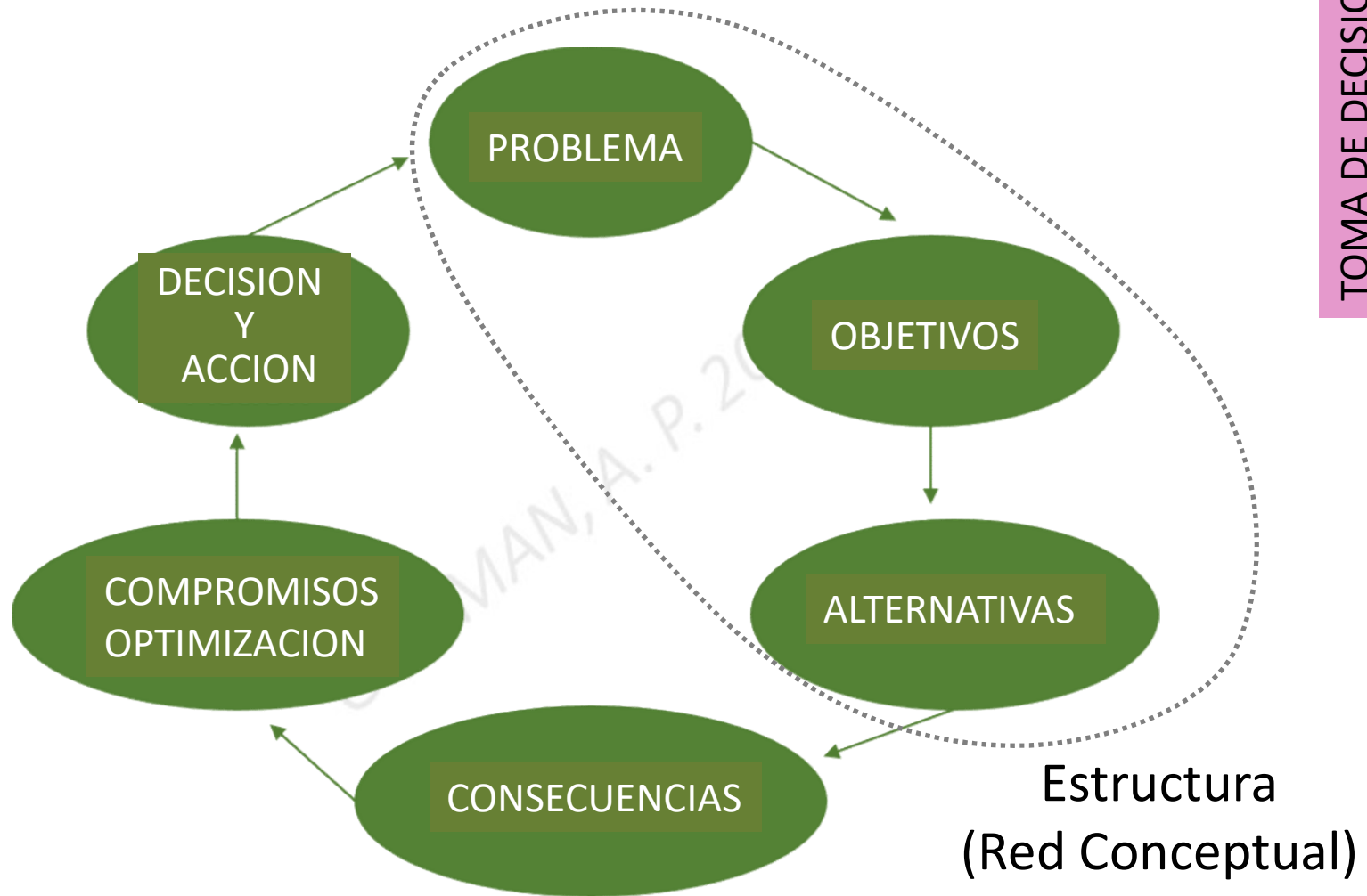
“Una formalización del sentido común para problemas de decisión que son demasiado complejos para el uso informal del sentido común.” (Keeney, 1982)

Ciclo iterativo PrOACT



Ciclo iterativo PrOACT

TOMA DE DECISIONES
ESTRUCTURADAS



PrOACT

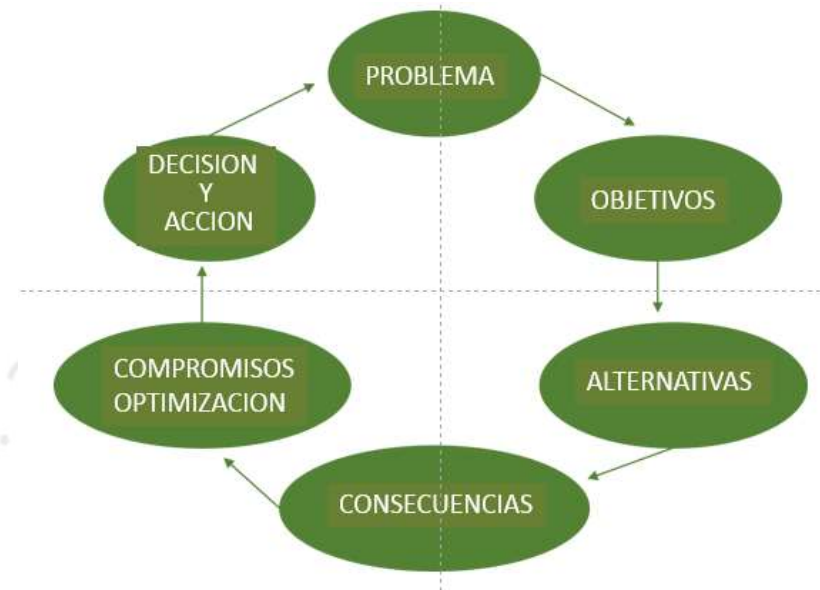
Definir el **PROBLEMA** es esencial en el proceso TDE y para cualquier decisión que no podemos tomar rápidamente.

CUÁL es el problema

Ej. ¿Qué trabajo tomar? ¿Qué trabajo tomar que asegure felicidad por los próximos 5 años a mi y mi familia?”

Incluir todas las personas, lugares y cosas involucradas, así como el tiempo estimado.

No es lo mismo decir: “¿nos mudamos?” que “¿nos mudamos en los próximos 5 años?”

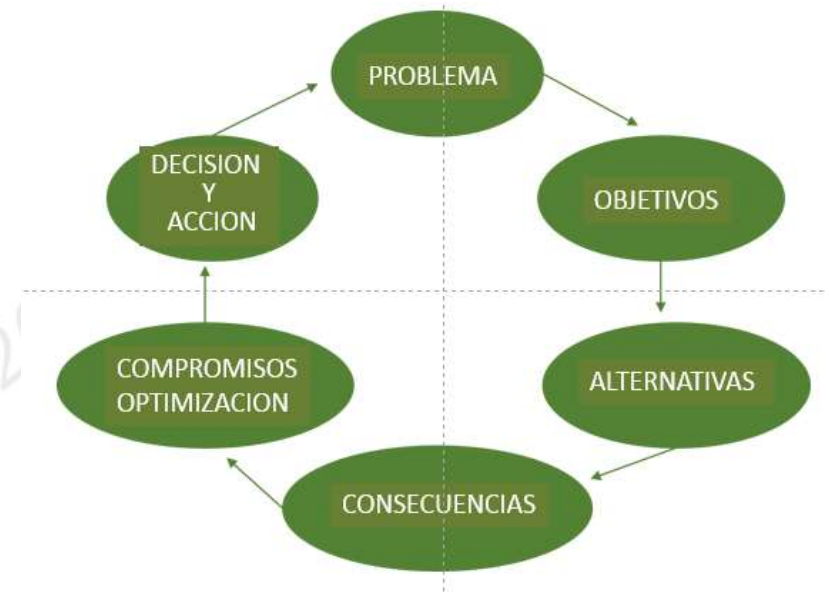


PrOACT

Una vez que el/los tomadores de decisión definen el problema, se pasa a los **OBJETIVOS**. Se define QUÉ y CÓMO valoramos cosas relacionadas al problema.

Si la decisión es si debemos mudarnos en los prox 6 meses, dentro de la misma ciudad

Podríamos valorar tiempo de viaje al trabajo, espacios verdes, seguridad en el barrio, etc.



...Continuará...

Elementos clave

Descomponer el problema en componentes:

- Facilita un entendimiento compartido de las complejidades del problema
- Facilita el **pensamiento creativo** sobre soluciones alternativas
- Puede ayudar a descubrir donde **falta información**
- Evita sesgos personales al considerar componentes basados en **evidencias** (estimando consecuencias), **separado** de los componentes basados en **valores** (objetivos y compromisos)

Elementos clave

- **OBJETIVO:** Resultado específico que el tomador de decisión quiere alcanzar (Lo que queremos alcanzar)
- **DECISIONES ALTERNATIVAS:** Lista de las posibles acciones que pueden tomarse (Los medios a nuestra disposición para alcanzarlo)
- **CONSECUENCIAS:** Lo que pasa seguido a una decisión (Que es lo que pasará, o lo que pensamos)

Elementos clave

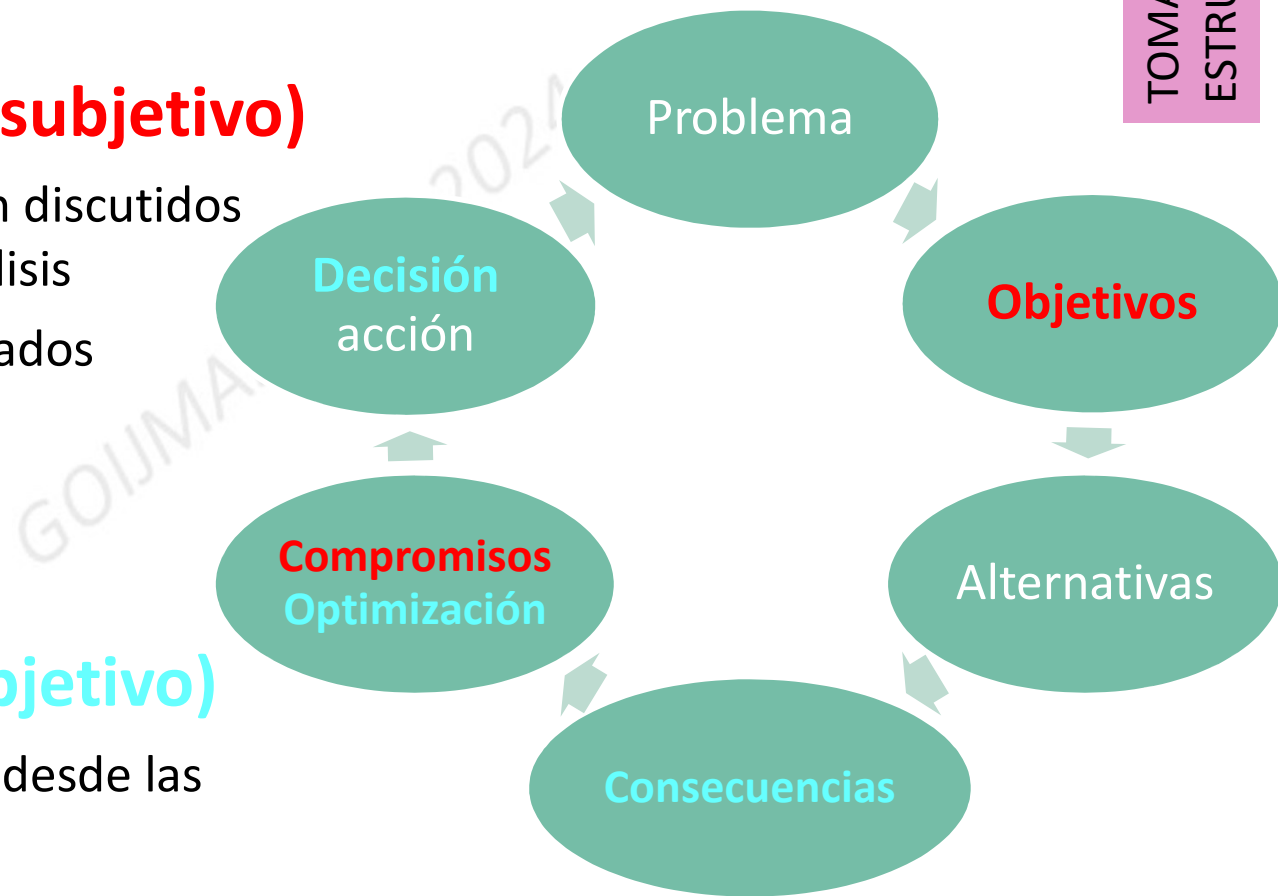
Foco puesto en los valores

Rol de la sociedad (**subjetivo**)

- Objetivo/s (valores) son discutidos primero, y guían el análisis
- Poner valor a los resultados

Rol de la ciencia (**objetivo**)

- Predecir los resultados desde las elecciones alternativas



TOMA DE DECISIONES
ESTRUCTURADAS

Toma de Decisiones Estructuradas

SUPUESTOS	FORTALEZAS	LIMITACIONES
<p>Informa tomadores de decisión acerca de cuan bien sus objetivos pueden ser satisfechos por cursos de acción alternativos.</p> <p>Aclara valores divergentes que pueden apuntalar compromisos irreducibles.</p> <p>Los objetivos y medidas de desempeño guían la búsqueda de opciones de manejo y proveen la base para la comparación.</p>	<p>Enfoque amplio que puede ser aplicado a un vasto número de situaciones y escalas.</p> <p>Maneja bien objetivos en conflicto e incertidumbre mejor que otras herramientas analíticas.</p> <p>Particiona el proceso en pasos pequeños, simplificando los componentes sociales y técnicos del problema.</p> <p>Separa claramente valores de hechos.</p>	<p>Tiene un gran componente humano, por lo cual conflictos irresolubles hacen que el progreso sea imposible.</p> <p>Poca guía de como llevar los pasos dentro de la toma de decisiones estructuradas. Requiere experiencia significativa para facilitar un resultado fructífero.</p>

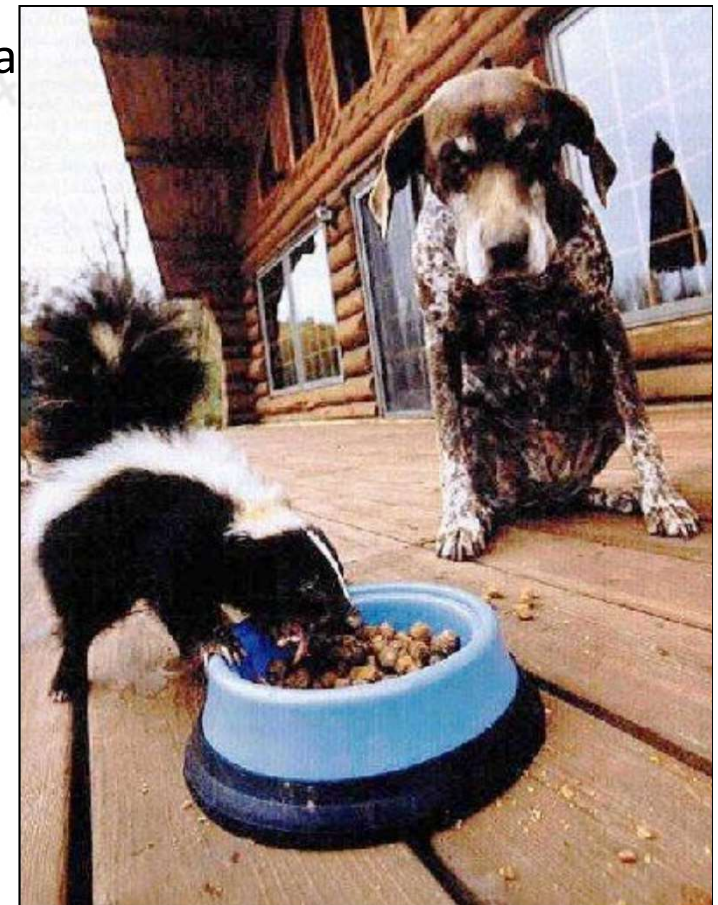
Motivación para TDE

- Muchas veces la toma de decisiones NO está guiada claramente por un objetivo, falta transparencia, y no puede ser defendida cuando es desafiada.
- Implementación voluntaria de prácticas amigas naturales no es una decisión sencilla
- Puede llevarnos a:

Decisiones ineficientes

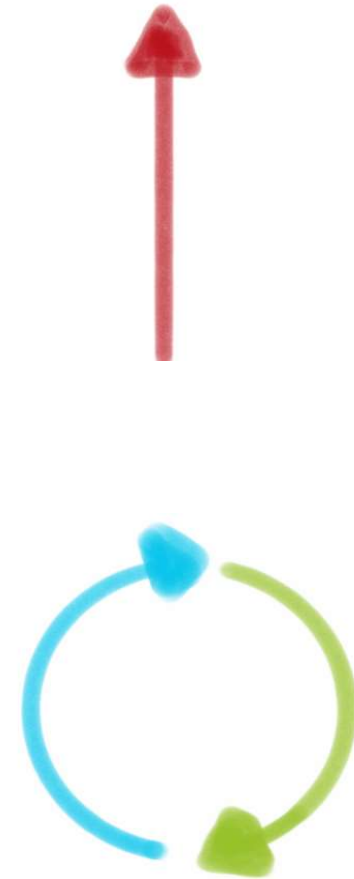
Decisiones por reacción o riesgosas

Falta de aprendizaje sobre los errores

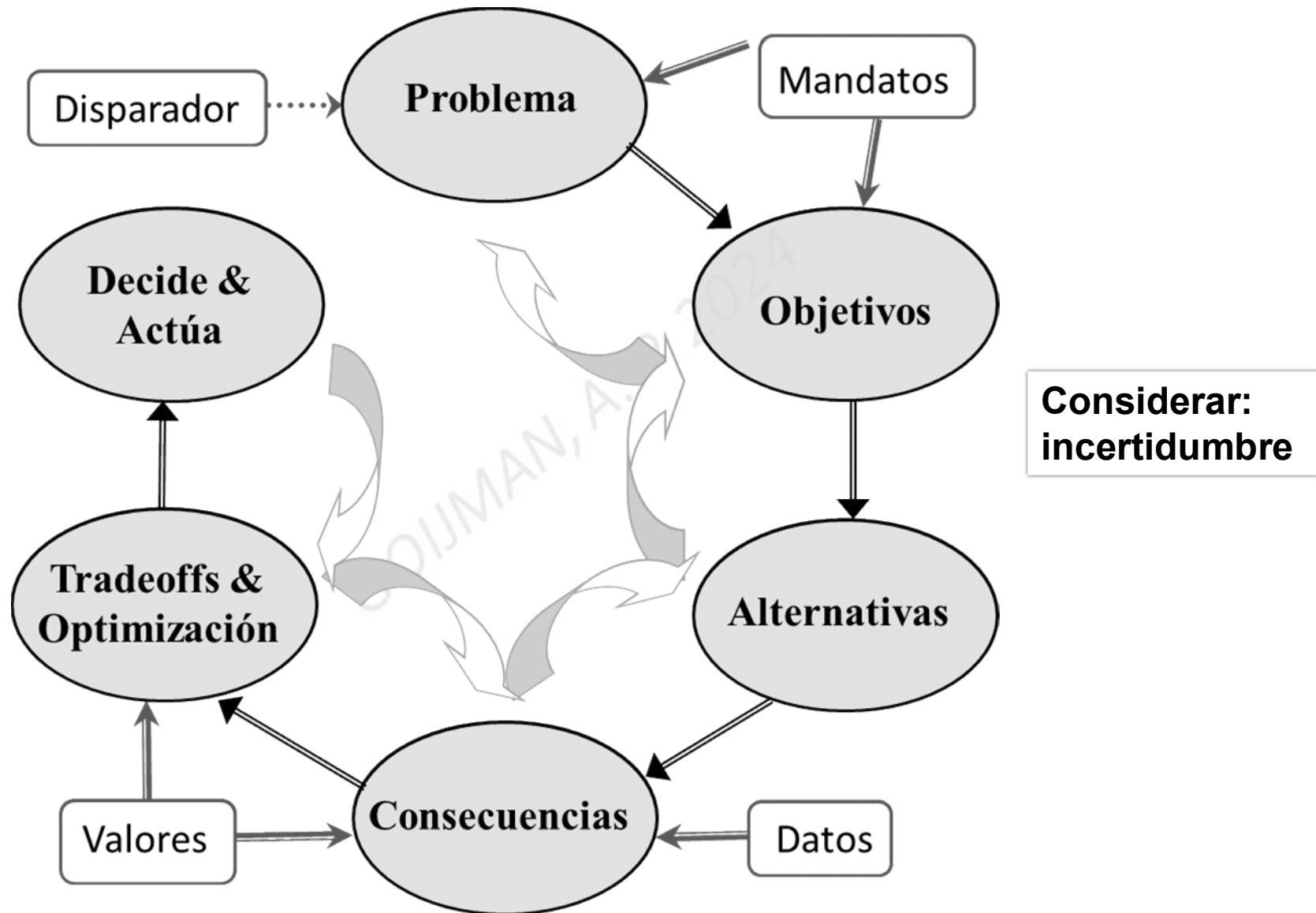


Motivación para TDE

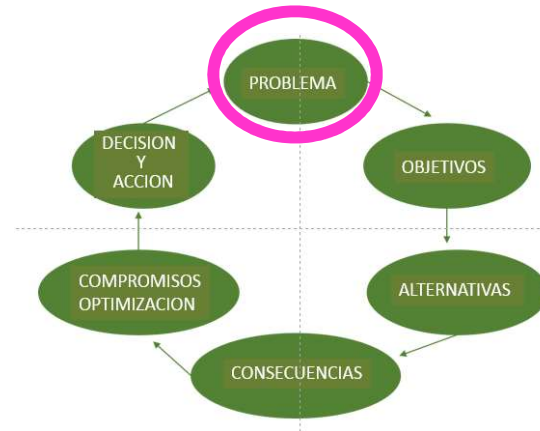
- En muchos casos de manejo de vida silvestre y recursos naturales, las decisiones no son reversibles
- Si es reversible, puede ser tomada rápido y sin mucha información, pero las decisiones irreversibles tienen que ser cuidadosas, mediante un proceso que considere la mayor información y entendimiento del problema



Ciclo TDE



Ejemplo



Problema

Se quiere evaluar prácticas de manejo que permitan **producir soja** integrando la **conservación de aves y sus SE**, con los **valores y necesidades de productores agrícolas** en el departamento

Paraná, Entre Ríos.



Objetivos fundamentales

¿Por qué? ¡Porque si!

1. Maximizar bienestar de productores
2. Maximizar presencia aves insectívoras
3. Minimizar costos de manejo



Objetivos

Objetivos medios

¿Cómo lo logramos?

1. Maximizar bienestar de productores
 - Maximizar rendimiento soja
 - Minimizar contaminación
2. Maximizar presencia aves insectívoras
 - Aumentar vegetación en bordes
3. Minimizar costos de manejo



Objetivos

Objetivos medios

¿Cómo lo logramos?



1. Maximizar bienestar de productores
 - Maximizar rendimiento soja
 - Minimizar contaminación

*50% mal uso agroquímicos
y contaminación*



Alternativas

¿Qué hacemos y cómo?



1. Franja de vegetación (max. proporción borde/área)
2. Árboles nativos en bordes (¿plantar? ¿cuidar?)
3. Minimizar insecticidas (¿Cuándo? ¿Qué se aplica?)

Combinaciones de los niveles

Consecuencias

Efecto de las decisiones sobre los objetivos



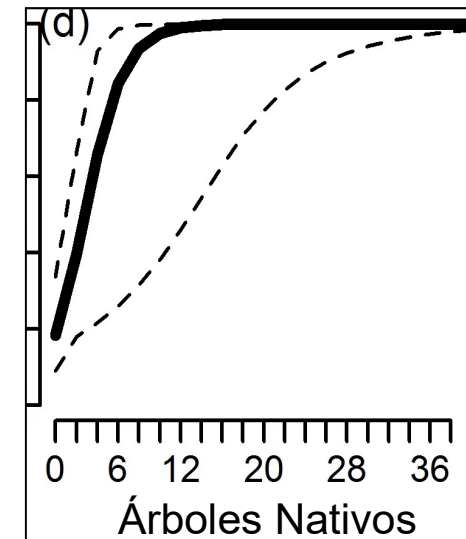
Predecir por medio del modelado

- *¿Cómo afecta al rendimiento de la soja minimizar la aplicación de insecticidas?*
- *¿Cómo afecta a la contaminación minimizar la aplicación de insecticidas?*
- *¿Cómo afecta al bienestar del productor minimizar la contaminación?*
- *¿Cómo afecta a las aves insectívoras plantar árboles nativos en los bordes?*
- *Etc.*

Consecuencias



- Los modelos pueden ser mentales, conceptuales o cuantitativos *pero deben explícitamente conectar decisiones con objetivos*
- Información de datos empíricos, modelos predictivos, opinión de expertos, etc.



Compromisos y optimización

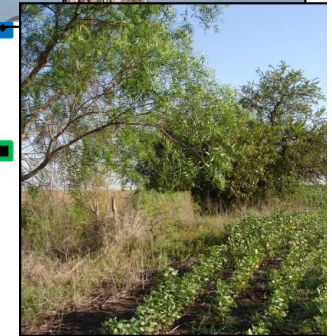
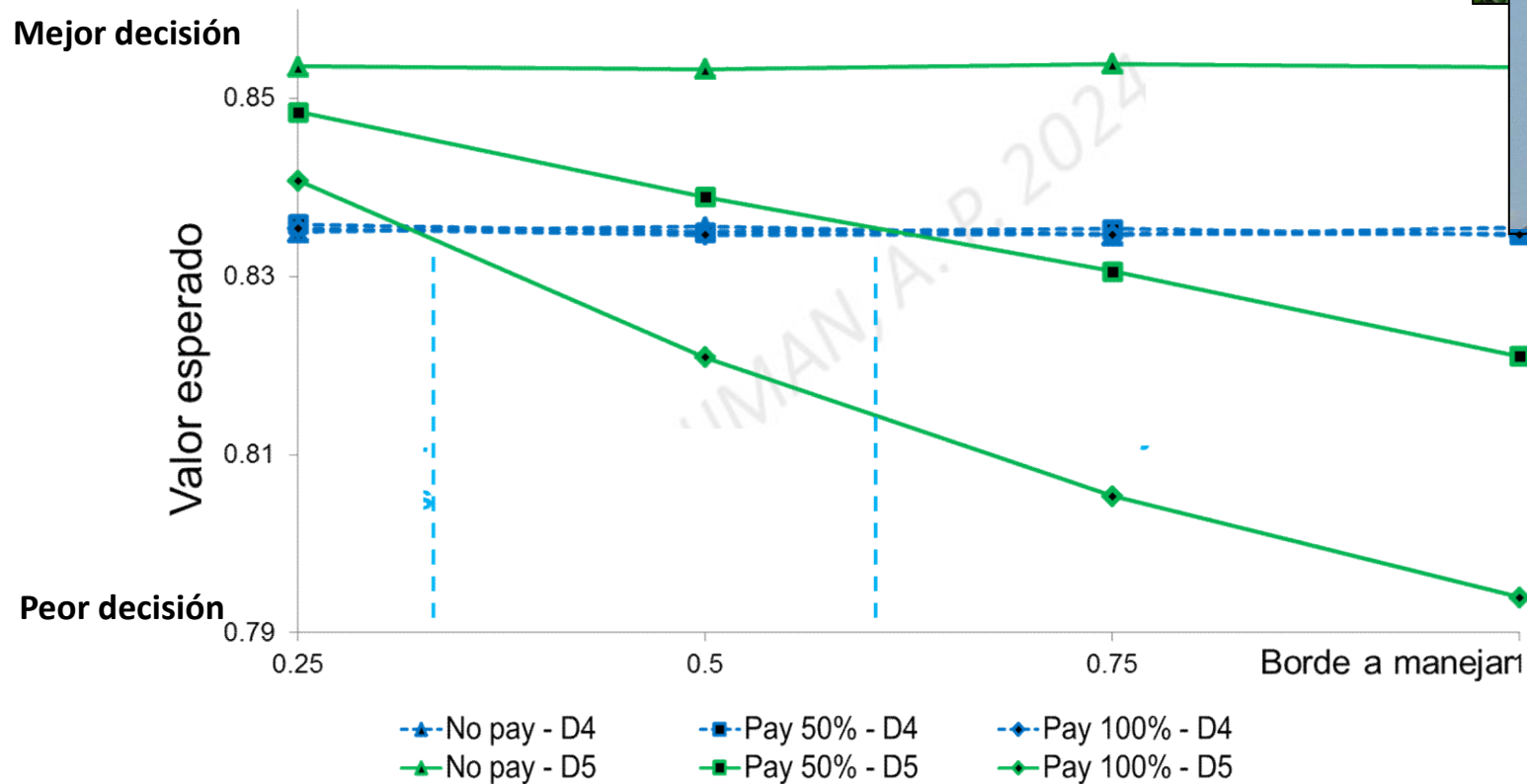
Encontrar la solución óptima



- Definir prioridades evaluando los compromisos entre objetivos en competencia
- Encontrarla integrando
 - Objetivos (claros y medibles)
 - Acciones (bien definidas)
 - Modelos
- Identificar la acción que mejor alcanza los objetivos

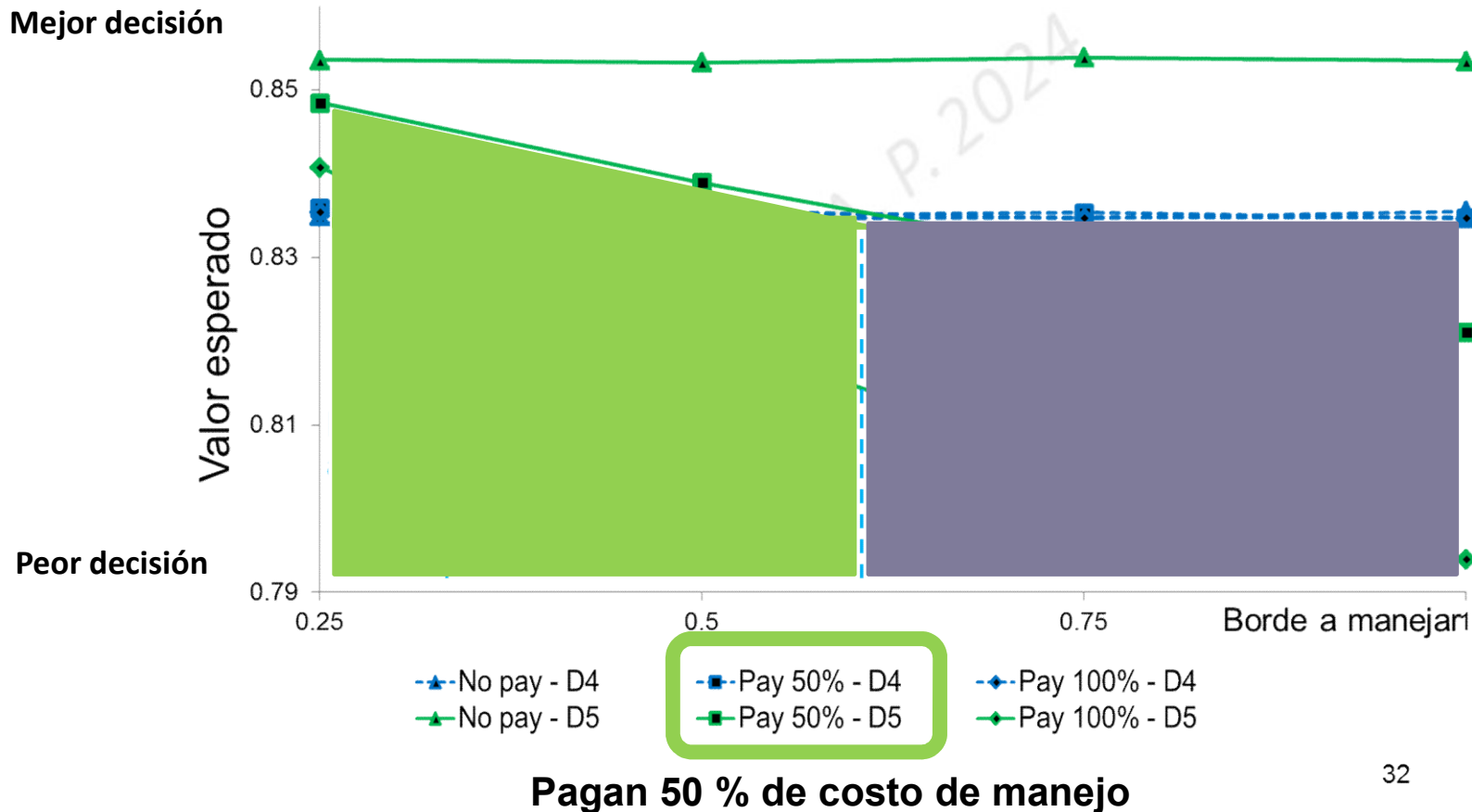
Maximizar el bienestar de los productores, maximizar la presencia de aves insectívoras, minimizando costos de manejo.

- compromisos entre objetivos en competencia



D5: Plantar árboles en todo el borde y Minimizar Insecticidas

D4: No manejar los bordes y Minimizar Insecticidas



¿Cuándo es TDE apropiado?



Herramientas para la toma de decisiones

MANEJO ESTRATÉGICO
DE DAÑOS

TEORÍA DEL
CAMBIO

TOMA DE DECISIONES
ESTRUCTURADAS

OTRAS

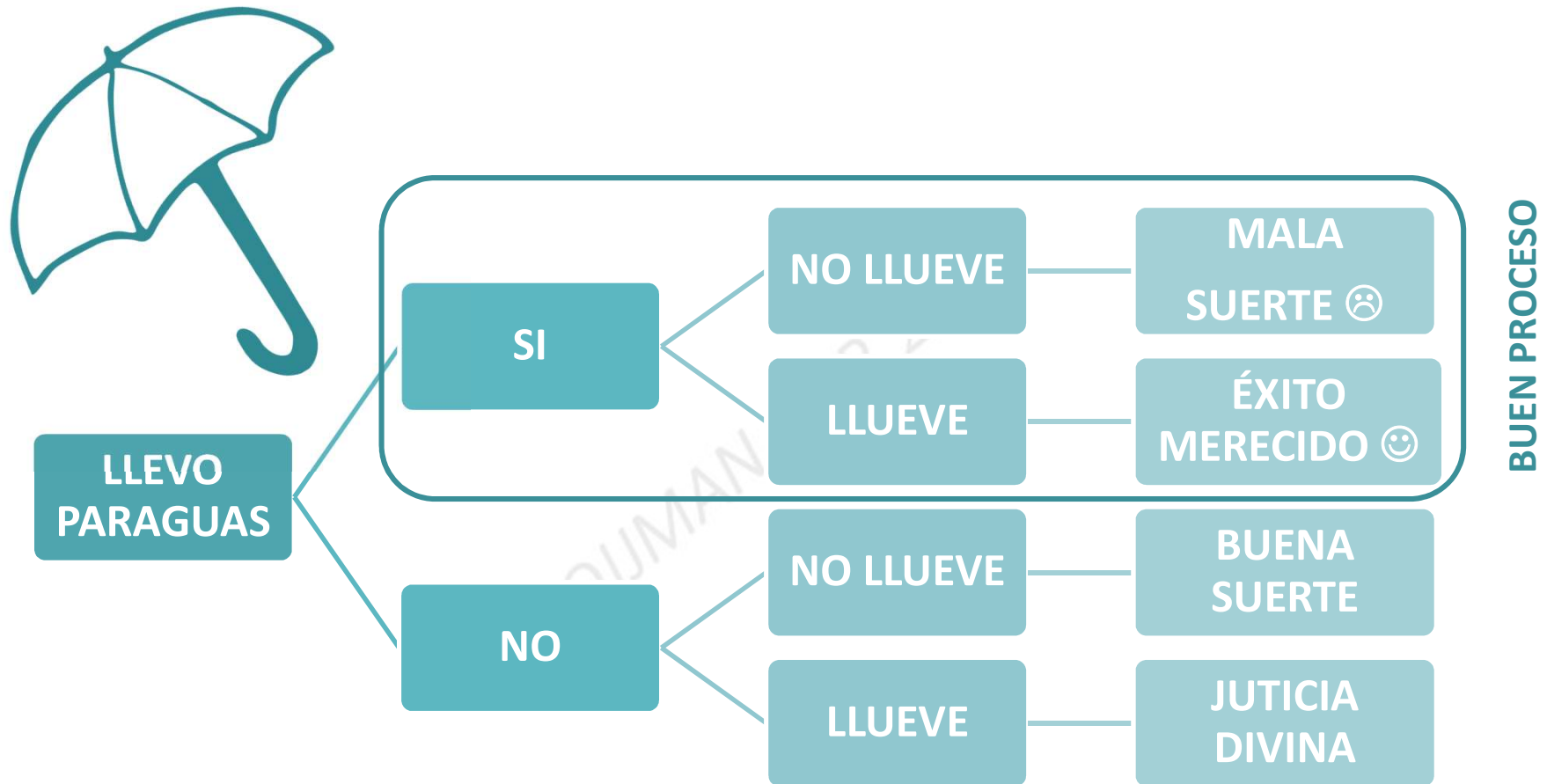
- Fundamental la definición y comprensión del problema (contexto)Defendible (“memoria institucional”)
- Multidimensional
- Sistemático. Sigue principios y pautas para lograr objetivos
- Transdisciplinar
- Gráfico (facilita el trabajo con actores): Armado de red conceptual
- Aprendizaje
- Mejora uso de los recursos (eficiencia)
- Total o parcial cualitativos

¿Qué es una BUENA decisión?

¿Qué es una BUENA decisión?

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

¿Qué es una BUENA decisión?



¿Qué es una BUENA decisión?

- Una buena decisión está dada por el **proceso** que la generó, no necesariamente el **resultado**
- **No se puede controlar la incertidumbre**
- Se puede controlar el proceso totalmente por el cual tomamos la decisión, y establecer el proceso que se espera que resulte mejor que otro proceso

- National Conservation Training Center (NCTC), US Fish and Wildlife Service & USGS. Introduction to Structured Decision Making (Course material, presentations)
- Bunnefeld, N., Nicholson, E., and Milner-Gulland, E. (Eds.). (2017). Decision-Making in Conservation and Natural Resource Management: Models for Interdisciplinary Approaches (Conservation Biology). Cambridge: Cambridge University Press.
- 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.
- Keeney 2004. Making better decision makers. Decision Analysis 1:193-204.
- Kjærulff, U.B., Madsen, A.L. (2013). Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis. Information Science and Statistics, vol 22. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5104-4_10
- 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.
- Braysher, M. 1993. Managing Vertebrate Pests. Principles and Strategies. Australian Bureau of Resource Sciences. Australian Government Publishing Service. Canberra, Australia. 58 pp. (PDF)
- Braysher M., T. Buckmaster, G. Saunders and Ch.J. Krebs. 2012. Principles Underpinning Best Practice Management of the Damaged due to Pests in Australia. Proc. 25th Vertebr. Pest Conf. (R. M. Timm, Ed.). Published at Univ. of Calif., Davis. 2012. Pp. 300-307 (PDF)
- Olsen, P. 1998. Australia's Pest Animals. New Solutions to Old Problems. Australian Bureau of Resource Sciences and Kangaroo Press. 160 pp. (PDF)