



Sistema de Información Geográfica Avanzado

**Ingeniero Agrimensor
Tecnólogo en Cartografía**

Análisis de decisiones por múltiples criterios espaciales (I)

- La tierra es un **recurso escaso**.
- Es esencial hacer el mejor uso de las misma e identificar convenientemente los espacios para la agricultura, forestación, recreación, localización de fábricas, industria ganadera, etc.

Análisis de decisiones por múltiples criterios espaciales (II)

Categorías de los procesos de toma de decisiones:

- Toma de decisiones **bajo certidumbre: Se conocen todos los datos en forma determinista.**
- Toma de decisiones **bajo riesgo: Los datos se describen mediante distribuciones de probabilidad.**
- Toma de decisiones **bajo incertidumbre: No es posible asignar a los datos pesos relativos que representan su grado de relevancia en el proceso de decisión.**

Análisis de decisiones por múltiples criterios espaciales (III)

- Un problema de decisión puede considerarse como un problema multicriterio **si existen al menos dos criterios en conflicto y al menos dos alternativas de solución.**
- En un problema de decisión de multicriterio se trata de **identificar la mejor o las mejores soluciones considerando simultáneamente múltiples criterios en competencia.**
- Los criterios pueden estar en **conflicto: el incremento en la satisfacción de uno, implica el decremento de la satisfacción del otro.**

Análisis de decisiones por múltiples criterios espaciales (IV)

- **Alternativas:** Posibles soluciones o acciones a tomar por el decisor.
- **Atributos:** Características que se utilizan para describir cada una de las alternativas disponibles. Pueden ser **cuantitativas** (atributos objetivos) o **cualitativas** (atributos subjetivos). Cada alternativa está caracterizada por un número finito de atributos (definidos por el decisor).
- **Objetivos:** Son aspiraciones que indican direcciones de perfeccionamiento de los atributos seleccionados. Están asociados con los deseos y preferencias del decisor.

Análisis de decisiones por múltiples criterios espaciales (V)

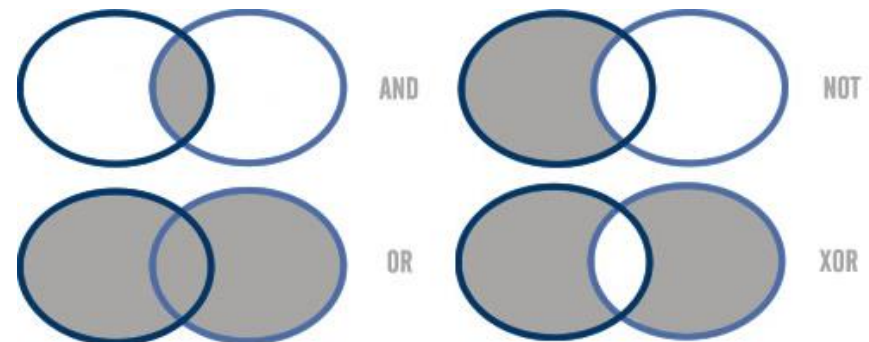
- **Metas:** Aspiraciones que especifican niveles de deseos de los atributos.
- **Criterios:** Son los parámetros, directrices y puntos de referencia que van a permitir evaluar las opciones o alternativas que se presenten en el proceso de decisión.
- **Restricciones:** Criterios que excluyen áreas del análisis.
- **Factores:** Criterios que influyen a favor o en contra (potencian o restan) la viabilidad del objetivo en cuestión.

Análisis de decisiones por múltiples criterios espaciales (VI)

- Los métodos de evaluación y decisión multicriterios sirven para encontrar **soluciones posibles**; no necesariamente óptimas.
- Dependiendo de las preferencias del **decisor** y de **objetivos predefinidos** (usualmente conflictivos), el problema central consiste en: **seleccionar las mejores alternativas; aceptar alternativas que parecen "buenas" y rechazar aquellas que parecen "malas"; generar un ranking de las alternativas consideradas (de la mejor a la peor).**

Aproximación tradicional al MCE (I)

- Basado en los estudios de **Ian McHarg** (Design with Nature, 1969) y **Bibby & Mackney** (Land use capability classification).
- Usaban técnicas de **capas superpuestas** para el análisis geográficos, localización de instalaciones, agricultura inteligente, mapas de uso de suelo.
- Llamado comúnmente **Método de Tamiz** (*Sieve Mapping*) o **Método Booleano**.



Aproximación tradicional al MCE (II)

- Este método implica el uso de las **operaciones de lógica booleana** o de **operaciones de “overlay” (superposición)**.
- La operación **AND** para intersecciones de superficies (**INTERSECT**), la operación **OR** para la unión (**UNION**), la operación NOT para el borrado (**ERASE**) y la operación **XOR** para la exclusión (**SYMETRICAL DIFFERENCE**).
- Según este método los criterios son **Verdaderos** (1) o **Falsos** (0).
- Las áreas son designada en forma binaria **eliminado la evaluación de aptitud**.

Aproximación tradicional al MCE (III)

- Una ventaja del método el tamiz es que se puede utilizar con **datos en el modelo vectorial y en el modelo ráster**.
- Es un método de evaluación rápido y de bajo costo.
- Pero al no contar con evaluación de aptitud **no es posible encontrar soluciones intermedias ni ponderar el análisis**.
- **Muchas veces pueden no existir soluciones factibles.**

Aproximación tradicional al MCE (IV)

Pasos generales del método:

- **Obtener datos de entrada:** Decidir los datos que van a servir de entrada para el análisis.
- **Generar la información de análisis:** Crear la información booleana a partir de los datos de entrada.
- **Analizar en forma conjunta:** Combinar la información de análisis con operaciones booleanas.
- **Resultado y salida del análisis:** Generar la salida de mapa o similar.

Aproximación tradicional al MCE (V)

Herramientas habituales a utilizar:

- Consultas espaciales y alfanuméricas.
- Operación de análisis espacial (buffer, intersection, clip, difference, union, etc.)
- Conversión entre modelos (ráster y vectorial).
- Resamplado de rásters.
- Reclasificación de rásters.
- Algebra de mapas.

Aproximación tradicional al MCE (VI)

- **Un ejemplo:** Analizar el emplazamiento de una fábrica que esté en **Montevideo**, no esté en los **barrios costeros**, que esté a menos de 400m de las **principales avenidas**, que esté a mas de 500m de los **locales del sistema financiero**, que esté a mas de 750m de los **asentamientos**, que tenga una **pendiente** menor al 5% y que esté lo más al Sur posible.

Proceso de Análisis Jerárquico (I)

- El Proceso Analítico Jerárquico (**Analytic Hierarchy Process, AHP**) se basa en la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisión con criterios múltiples, **se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados.**
- Su contribución es importante en niveles **operativos, tácticos y estratégicos.**
- Sirviendo para mejorar el proceso de decisión debido a la gran información que aporta y a la mejora en el conocimiento del problema.

Proceso de Análisis Jerárquico (II)

- Organiza los factores en un **árbol de estructura**.
- **Es el modelo innato del funcionamiento de la mente humana.**
- Ayuda tomar decisiones complejas **descomponiendo el gran problema en problemas mas sencillos.**
- Determinar los pesos de los factores es difícil en forma directa, por lo tanto, **deriva pesos mediante la comparación de la importancia relativa entre dos factores.**
- Utiliza la **comparación entre pares.**

Proceso de Análisis Jerárquico (III)

Varias persepectivas:

- Una **técnica** que permite la resolución de problemas **multicriterio, multientorno y multiactores**, incorporando en el modelo los aspectos tangibles e intangibles, así como el subjetivismo y la incertidumbre inherente en el proceso de toma de decisión.
- Una **teoría matemática** de la medida generalmente aplicada a la influencia entre alternativas respecto a un criterio o atributo.
- Una **filosofía** para abordar, en general, la toma de decisión.

Proceso de Análisis Jerárquico (IV)

- Principal característica del AHP es que el problema de decisión se modela mediante una jerarquía en cuyo **vértice superior está el principal objetivo del problema** (meta a alcanzar) y, en la base, se encuentran **las posibles alternativas a evaluar**.
- En los niveles intermedios se representan los criterios (los cuales a su vez se pueden estructurar también en jerarquías) en base a los cuales se toma la decisión.
- **El diseño de las jerarquías requiere experiencia y conocimiento del problema que se plantea, para la cual es indispensable disponer de toda la información necesaria.**

Proceso de Análisis Jerárquico (V)

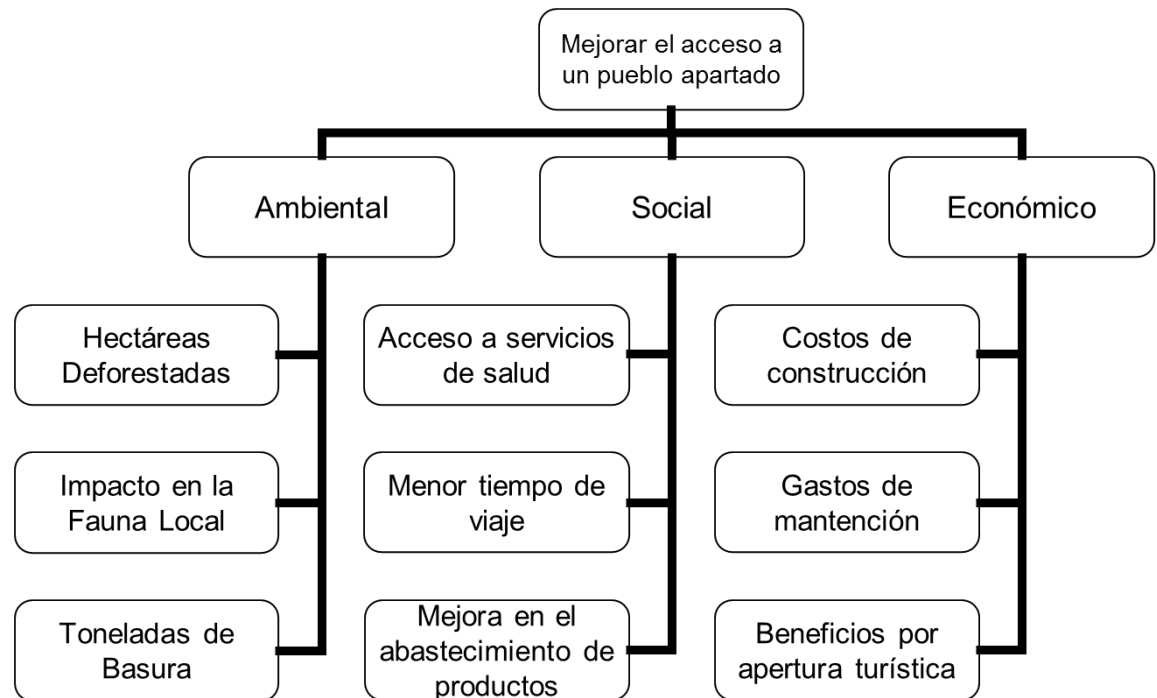


Proceso de Análisis Jerárquico (VI)

- Otra característica: En cada nivel de la jerarquía, se realizan comparaciones entre pares de elementos de ese nivel, en base a la importancia o contribución de cada uno de ellos al elemento de nivel superior al que están ligados.
- Esta comparación conduce a una **escala de medida relativa de prioridades o pesos de dichos elementos**.
- Las comparaciones por pares se realizan por medio de **ratios de preferencia** (si se comparan alternativas) o **ratios de importancia** (si se comparan criterios), que se evalúan según una escala numérica propuesta por el método, que más adelante se presenta.

Proceso de Análisis Jerárquico (VII)

- Una vez evaluada la contribución de cada elemento a los elementos del nivel de la jerarquía inmediatamente superior, se calcula la contribución global de cada alternativa al objetivo principal o meta mediante una agregación de tipo aditivo.



Proceso de Análisis Jerárquico (VIII)

Axiomas:

- **Axioma de comparación recíproca:** El decisor debe ser capaz de realizar comparaciones y establecer la fuerza de sus preferencias. La intensidad de estas preferencias debe satisfacer la condición recíproca: *Si A es x veces preferido que B, entonces B es $1/x$ veces preferido que A.*
- **Axioma de homogeneidad:** *Las preferencias se representan por medio de una escala limitada.*
- **Axioma de independencia:** *Cuando se expresan preferencias, se asume que los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas.*

Proceso de Análisis Jerárquico (IX)

Axiomas:

- **Axioma de las expectativas:** *Para el propósito de la toma de una decisión, se asume que la jerarquía es completa.*

Proceso de Análisis Jerárquico (X)

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia.	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo.
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro.
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Se usan como compromiso entre dos juicios.
Incrementos 0,1	Valores intermedios en incrementos.	Utilización para graduación más fina de juicios.

Proceso de Análisis Jerárquico (XI)

	Precio (Dolares)	Vida util (Años)	Coste mantenimiento anual (Dolares)	Producción (Unidades/hora)
Opción 1	3500	10	300	1000
Opción 2	2700	8	315	850
Opción 3	3100	12	280	950
Opción 4	4000	12	305	975

Proceso de Análisis Jerárquico (XII)

CRITERIO: PRECIO										
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4						
Opción 1				5						
Opción 2	5		3	9						
Opción 3	5			9						
Opción 4										
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio	
Opción 1	1.00	0.20	0.20	5.00	0.09	0.12	0.05	0.21	0.12	
Opción 2	5.00	1.00	3.00	9.00	0.45	0.61	0.70	0.38	0.53	
Opción 3	5.00	0.33	1.00	9.00	0.45	0.20	0.23	0.38	0.31	
Opción 4	0.20	0.11	0.11	1.00	0.02	0.07	0.03	0.04	0.04	
Suma	11.20	1.64	4.31	24.00						

Proceso de Análisis Jerárquico (XIII)

CRITERIO: VIDA ÚTIL										
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4						
Opción 1			3	3						
Opción 2	3		5	5						
Opción 3				1						
Opción 4										
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio	
Opción 1	1.00	0.33	3.00	3.00	0.21	0.19	0.30	0.30	0.25	
Opción 2	3.00	1.00	5.00	5.00	0.64	0.58	0.50	0.50	0.55	
Opción 3	0.33	0.20	1.00	1.00	0.07	0.12	0.10	0.10	0.10	
Opción 4	0.33	0.20	1.00	1.00	0.07	0.12	0.10	0.10	0.10	
Suma	4.67	1.73	10.00	10.00						

Proceso de Análisis Jerárquico (XIV)

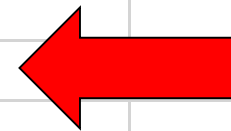
CRITERIO: MANTENIMIENTO ANUAL									
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4					
Opción 1		7		3					
Opción 2									
Opción 3	5	9		7					
Opción 4		5							
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio
Opción 1	1.00	7.00	0.20	3.00	0.15	0.32	0.14	0.27	0.22
Opción 2	0.14	1.00	0.11	0.20	0.02	0.05	0.08	0.02	0.04
Opción 3	5.00	9.00	1.00	7.00	0.77	0.41	0.69	0.63	0.62
Opción 4	0.33	5.00	0.14	1.00	0.05	0.23	0.10	0.09	0.12
Suma	6.48	22.00	1.45	11.20					

Proceso de Análisis Jerárquico (XV)

CRITERIO: TASA PRODUCCIÓN										
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4						
Opción 1		9	5	3						
Opción 2										
Opción 3		7								
Opción 4		7	3							
	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Matriz Normalizada				Vector Promedio	
Opción 1	1.00	9.00	5.00	3.00	0.61	0.38	0.55	0.67	0.55	
Opción 2	0.11	1.00	0.14	0.14	0.07	0.04	0.02	0.03	0.04	
Opción 3	0.20	7.00	1.00	0.33	0.12	0.29	0.11	0.07	0.15	
Opción 4	0.33	7.00	3.00	1.00	0.20	0.29	0.33	0.22	0.26	
Suma	1.64	24.00	9.14	4.48						

Proceso de Análisis Jerárquico (XVI)

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES									
	Precio	Vida útil	Costo Mant.	Tasa prod.	Matriz Normalizada				Vector Promedio
Precio	1.00	0.20	5.00	0.33	0.11	0.09	0.25	0.13	0.14
Vida útil	5.00	1.00	9.00	1.00	0.54	0.43	0.45	0.39	0.46
Costo Mant.	0.20	0.11	1.00	0.20	0.02	0.05	0.05	0.08	0.05
Tasa prod.	3.00	1.00	5.00	1.00	0.33	0.43	0.25	0.39	0.35
Suma	9.20	2.31	20.00	2.53					
	Precio	Vida útil	Costo Mant.	Tasa prod.	Total				
Opción 1	0.12	0.25	0.22	0.55	0.3353				
Opción 2	0.53	0.55	0.04	0.04	0.3432				
Opción 3	0.31	0.10	0.62	0.15	0.1729				
Opción 4	0.04	0.10	0.12	0.26	0.1486				
Ponderación	0.14	0.46	0.05	0.35					



Proceso de Análisis Jerárquico (XVII)

Procedimiento general:

- **Definición del problema:** Definir claramente el objetivo general del proceso de decisión junto con los actores involucrados en él. Se debe entregar una descripción del ambiente en que se desarrollará el estudio, sus características socio-económicas, ambientales, culturales, etc. dependiendo de los parámetros afectados por los proyectos en cuestión.
- **Definición de actores:** Seleccionar a los participantes involucrados en el proceso de decisión; de estos depende la representatividad del resultado del modelo.

Proceso de Análisis Jerárquico (XVIII)

Procedimiento general:

- **Estructurar el problema de decisión en un modelo de jerarquía (Jerarquizar):** Construir una estructura jerárquica que involucre todos los aspectos de interés, para la jerarquización de las alternativas.
- **Selección de las alternativas factibles:** Dentro de todas las posibilidades de proyectos alternativos se seleccionan aquellos que son factibles de realizar bajo un punto de vista de análisis general, donde se consideran criterios tales como la factibilidad técnica o económica.

Proceso de Análisis Jerárquico (XIX)

Procedimiento general:

- **Construcción del modelo jerárquico:** Se estructura el problema planteado en una jerarquía de criterios y alternativas. Es necesario definir los criterios estratégicos que participan en la decisión (Políticos, económicos, sociales, medioambientales, etc.). Estos criterios son a nivel macro y representan los objetivos perseguidos por el proyecto. Luego se procede a desglosar cada uno de los criterios definidos en la etapa anterior hasta llegar a un nivel de especificación que permita un fácil análisis y la comparación de las alternativas.

Proceso de Análisis Jerárquico (XX)

Procedimiento general:

- **Ingreso de los juicios:** A partir de la información obtenida o a la percepción de los actores del proceso se ingresan los juicios para cada par de elementos. Se comienza del primer nivel, dónde se encuentran los criterios estratégicos, se compara su importancia relativa con respecto del logro del objetivo general, luego se desciende en los niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas, las que son evaluadas en base a criterios técnicos más fáciles de tratar.

Proceso de Análisis Jerárquico (XXI)

Procedimiento general:

- **Síntesis de los resultados:** Por medio de comparaciones entre pares de elementos con respecto a su nivel inmediatamente superior y, gracias a la propiedad de transitividad entre los elementos, es posible establecer un ranking de prioridades para las diferentes alternativas, ranking que, dependiendo de la problemática, enfrentada representa la decisión a adoptar.

Proceso de Análisis Jerárquico (XXII)

Procedimiento general:

- **Validación de la decisión:** Para otorgar mayor confiabilidad a la decisión se debe establecer el rango de variación del peso relativo de los criterios estratégicos que soporta la decisión sin cambiar de alternativa propuesta, para esto se realiza un análisis de sensibilidad dónde se analizan diversos escenarios posibles, determinando los puntos de corte para el peso de cada uno de los criterios.

Método de Scoring Normalizado (I)

- También llamado **Método de Ponderación Lineal Normalizada**.
- Método con una fundamentación teórica ortodoxa y directa.
- Según la **Teoría de la Utilidad** y la **Teoría del Valor**, permite una elección entre **un conjunto de alternativas disponibles de forma que maximice su satisfacción**.
- Implica que se **conocen las alternativas y la capacidad de evaluarlas**, definiendo una función de valor o una función de utilidad que represente sus preferencias.

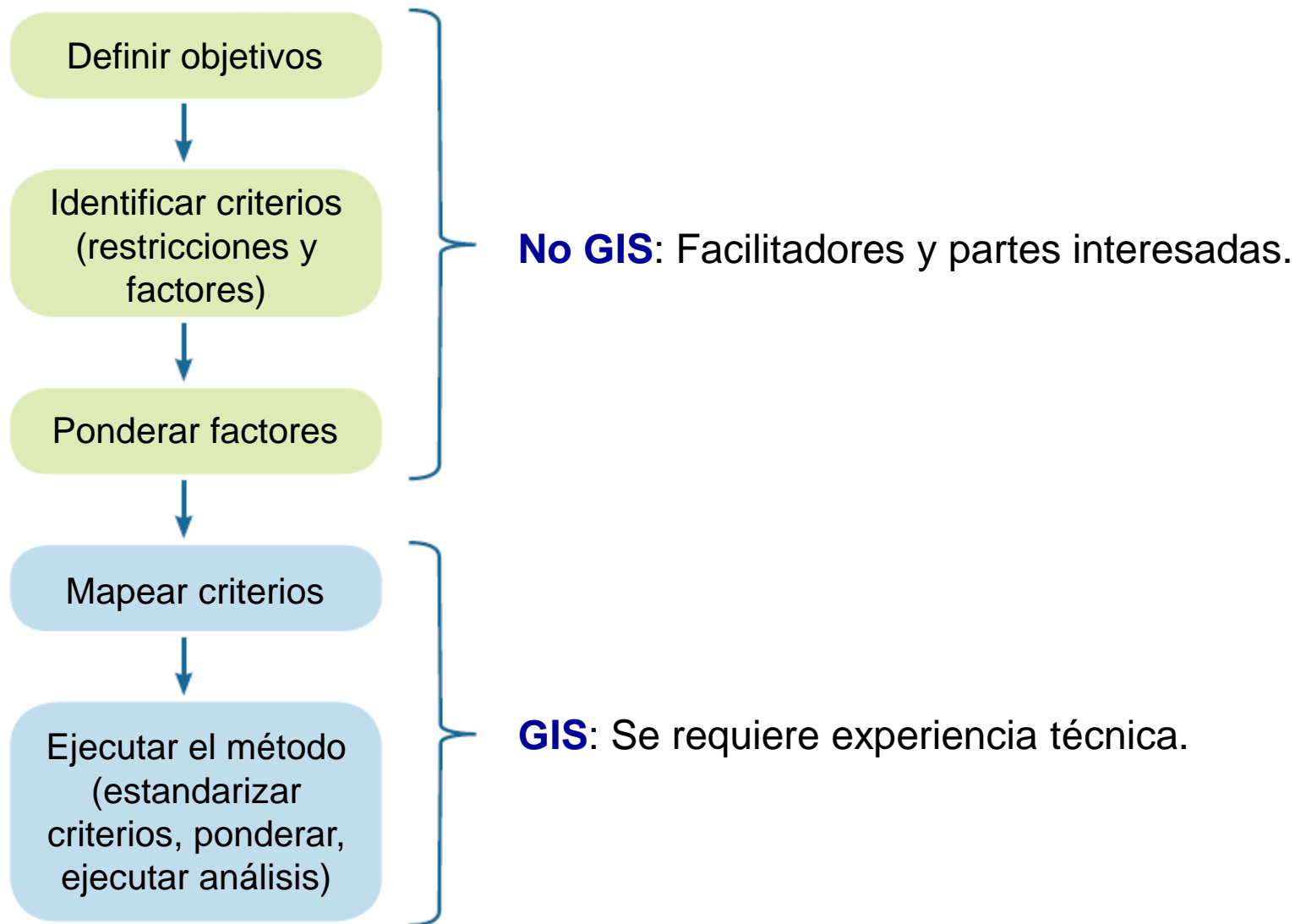
Método de Scoring Normalizado (II)

- Supone la **transitividad de preferencias** o la comparabilidad.
- Depende de la asignación de pesos a los factores o de la escala de medida de las evaluaciones.
- En el contexto de los análisis es importante diferenciar entre el problema de la **selección de alternativa óptima** (*site selection problem*) y el problema de **búsqueda de localización óptima** (*site search problem*).
- Alternativa óptima: **Identificar la mejor localización para una determinada actividad, dado un grupo de localizaciones posibles.**

Método de Scoring Normalizado (III)

- Localización óptima: **Identificar la mejor localización para una determinada actividad, a partir del universo de localizaciones posibles.**
- El problema se basa en ordenar las alternativas de localización por preferencia, basándose en sus características, de manera que se identifica la mejor localización. En el caso de que no exista un grupo determinado de alternativas, el problema se define como un análisis de localización óptima.

Método de Scoring Normalizado (IV)



Método de Scoring Normalizado (V)

- La selección de los factores para un análisis de criterios múltiples se puede hacer de varias maneras: sobre la base de la literatura existente, que se pueden definir por un analista, o pueden ser definidas por un grupo de expertos.

Método de Scoring Normalizado (VI)

- Las **restricciones** son criterios que excluyen áreas del análisis.
- Los **factores** son criterios que influyen a favor o en contra (potencian o restan) la viabilidad del objetivo en cuestión.
- La selección de los factores para un análisis de criterios múltiples se puede hacer de varias maneras: sobre la base de la literatura existente, que se pueden definir por un analista, o pueden ser definidas por un grupo de expertos.

Lectura de Módulo

- ***“Modelos Digitales del Terreno: Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales”*** (Angel M. Felicísimo). Caps: 1, 2 y 3.