

# Desarrollo de la metodología para la selección de tratamientos de las aguas residuales.

# Tareas del análisis multicriterio

## TAREAS DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

### 1. Establecimiento del contexto de la decisión

---

### 2. Definición los elementos del análisis

---

- A. Los objetivos del proyecto.
  - B. Las alternativas
  - C. Los condicionantes locales
- 

### 3. Recopilación de la información necesaria para valorar las alternativas

---

### 4. Construcción del modelo de decisión

---

- A. Seleccionar y estructurar los criterios
  - B. Asignar ponderaciones a los criterios
  - C. Diseñar sistemas de valoración para cada criterio
  - D. Establecer el sistema para agregar la información en un valor global
- 

### 5. Obtención y análisis de los resultados

---

- A. Puntuar los diferentes criterios para cada alternativa y calcular las puntuaciones agregadas
  - B. Analizar la incertidumbre
  - C. Interpretar y comunicar los resultados
-

# Conocimiento de condiciones locales

- Clave en definición de objetivos y ponderación criterios
- Condicionada por tipo de proyecto e información disponible
- Muy importante que obtenerla antes del estudio de alternativas
- Anexo I

## *ANEXO I*

### *I.1 INTRODUCCIÓN*

### *I.2 REVISIÓN DE LA NORMATIVA DE APLICACIÓN*

### *I.3 LA POBLACIÓN Y SU ENTORNO*

### *I.4 ENTIDAD PRESTADORA DEL SERVICIO*

### *I.5 ESTADO DE LAS INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS EXISTENTES*

### *I.6 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES*

### *I.7 CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO DE LA PTAR*

### *I.8 CONOCIMIENTO DE PRECIOS LOCALES*

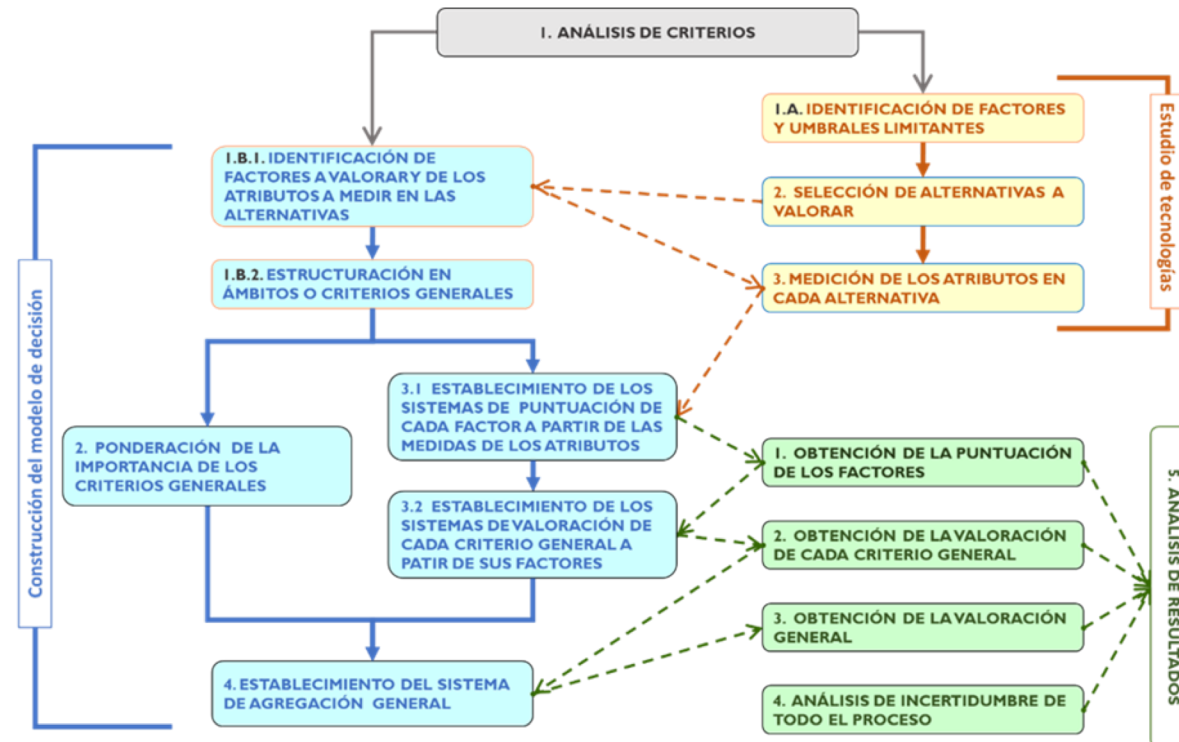


# Objetivos

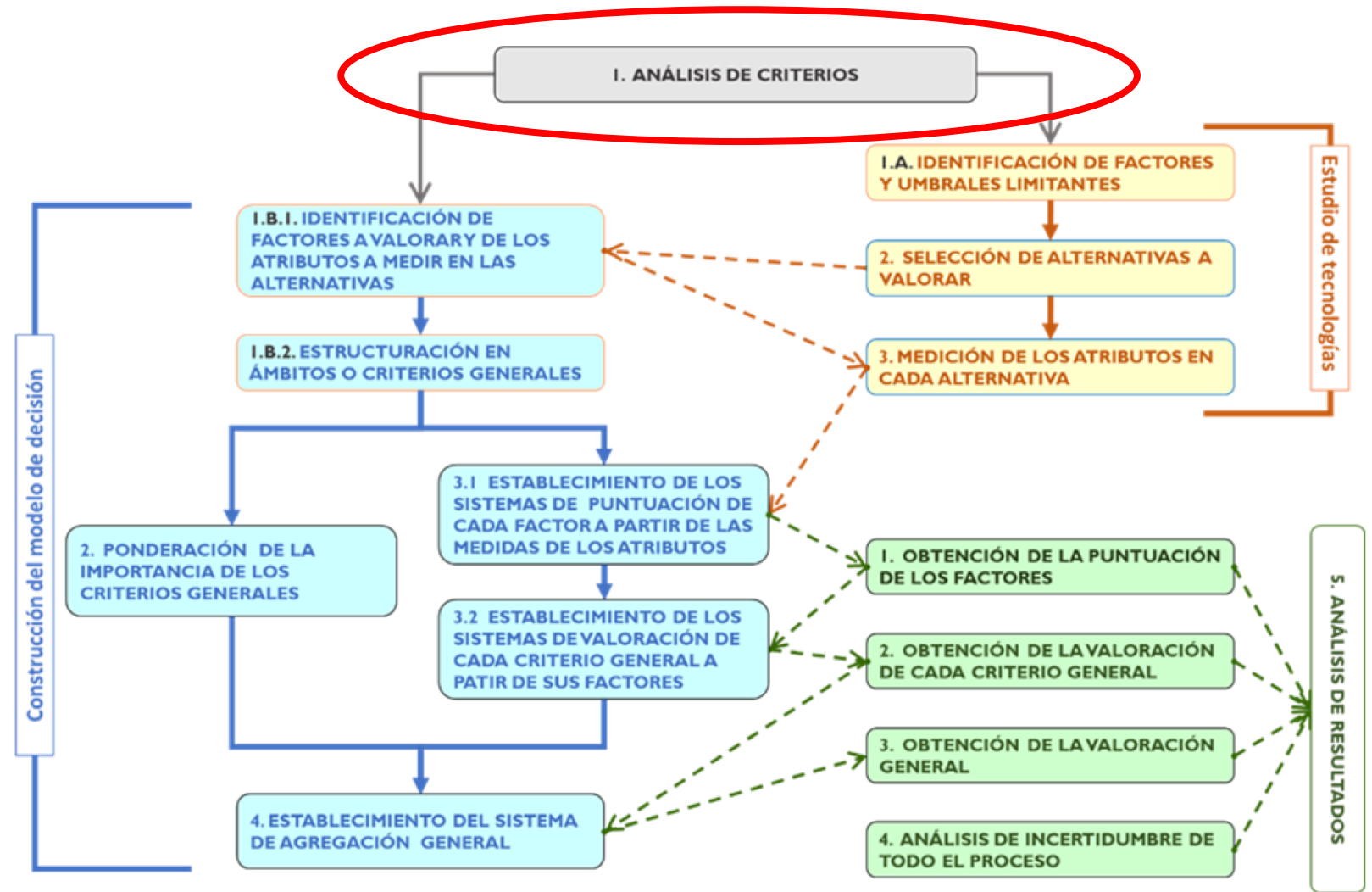
- Objetivos del tratamiento
  - Eficacia
  - Eficiencia
  - Seguridad: riesgos en cuanto a eficacia y eficiencia
- Otros requisitos
  - Cambio climático
  - Consumo energético
  - Economía circular
    - Recuperación energía
    - Recuperación residuos
    - Reutilización aguas
    - Potenciar sinergias entre actividades
- Objetivos de sostenibilidad
  - Sostenibilidad técnica
  - Sostenibilidad social
  - Sostenibilidad económica
  - Sostenibilidad ambiental
  - Sostenibilidad institucional
- Incertidumbres y riesgos

# Metodología propuesta

- Características básicas
  - Los criterios pueden ser muchos y muy diversos
  - Reducción previa de alternativas a considerar en el estudio
  - Diseños básicos requeridos para las alternativas a valorar
  - Requerida definición de un modelo de decisión
  - Conveniente utilizar medios informáticos por su complejidad

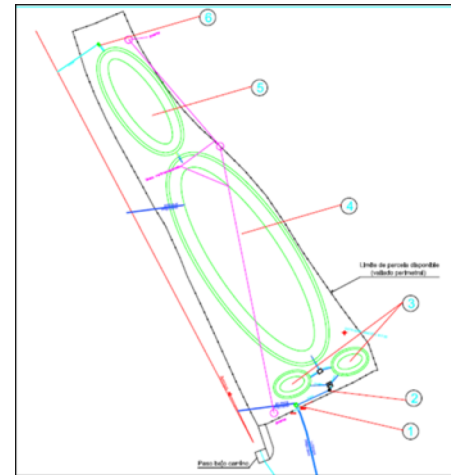


# Análisis de criterios



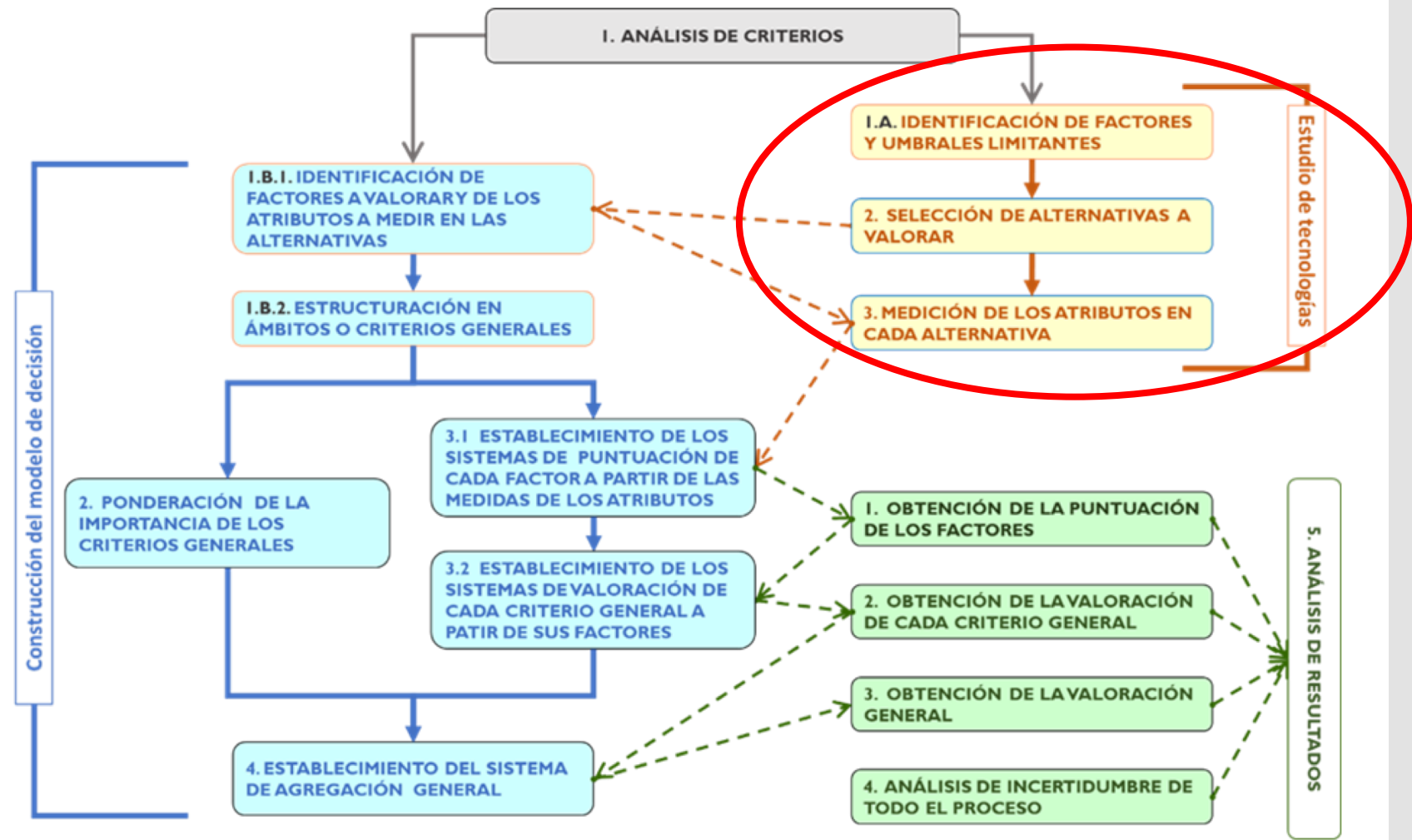
## Criterios limitantes y criterios a valorar

- **Criterios limitantes:** Los que condicionan la selección previa de líneas de tratamiento (p.e. calidad efluente tratado o superficie terreno disponible)



- **Criterios a valorar:** Los que serán valorados en el modelo de decisión (p.e. costos, capacidad de adaptación a variaciones de caudal)

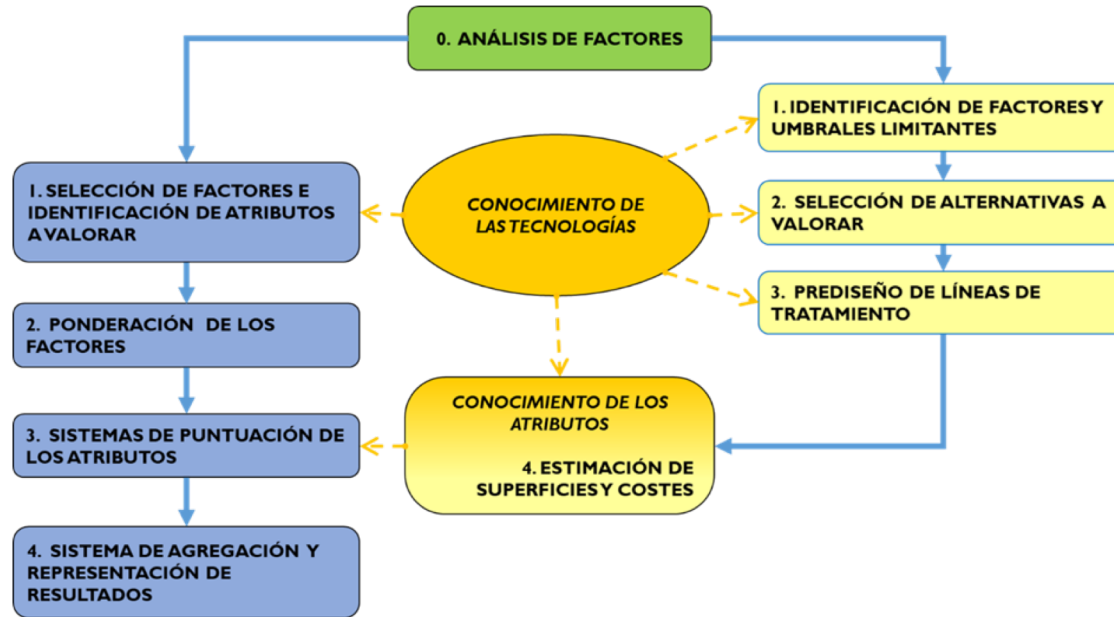
# Estudio de tecnologías





# Estudio de tecnologías

- En qué etapas es importante el conocimiento de tecnologías



- Infinidad de combinaciones de tratamientos
- La unidad de análisis es la línea de tratamiento
- Posibilidad estudio independiente para tratamientos de desinfección/regeneración o cuaternarios
- Optimización del grado de definición de líneas a considerar

# Estudio de tecnologías.

## Anexo II

### ANEXO II

#### II.1 GENERALIDADES

#### II.2 TIPOLOGÍAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES

#### II.3 CONFORMACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRATAMIENTO

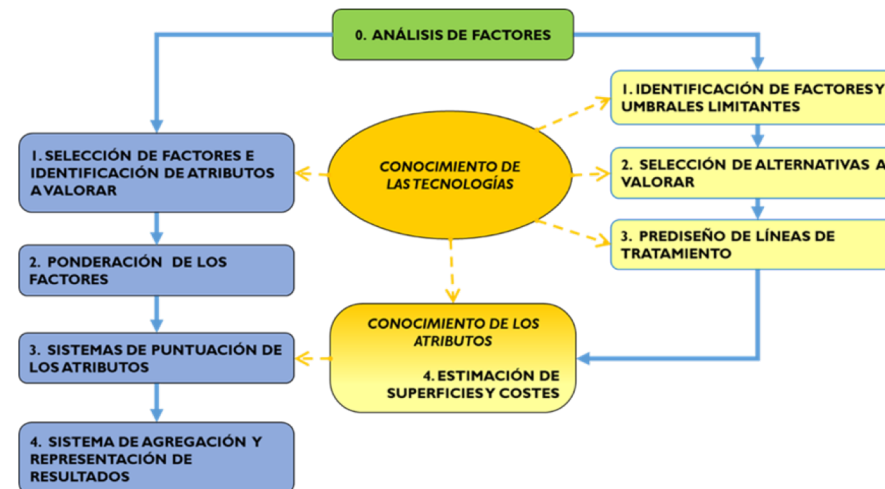
#### II.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS ALTERNATIVAS A COMPARAR

#### II.5 OBTENCIÓN DE LOS VALORES DE LOS ATRIBUTOS

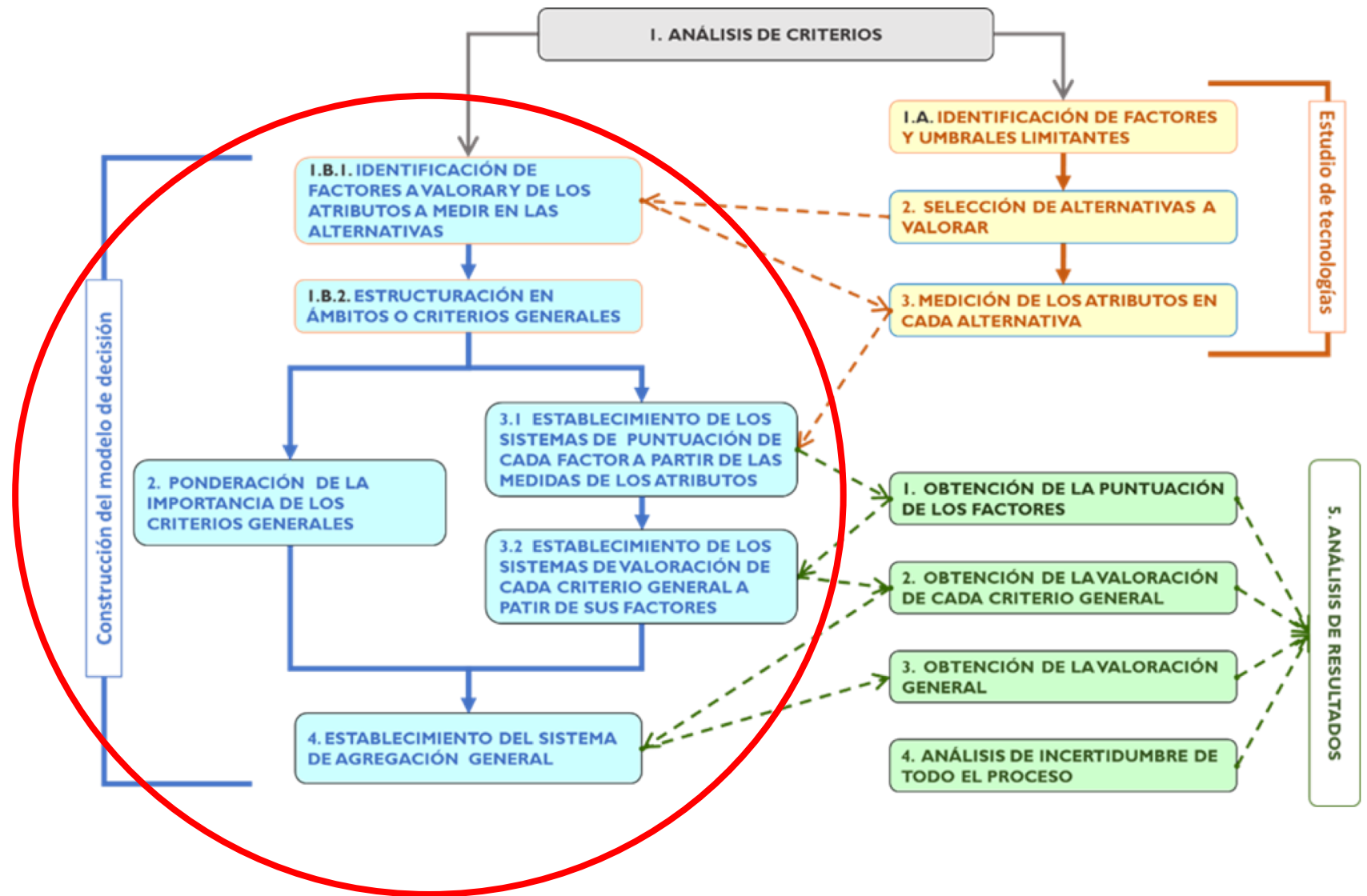
##### II.5.1 PREDISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS

##### II.5.2 OTROS PROCEDIMIENTOS PARA INTEGRAR LA INFORMACIÓN

##### II.5.3 UTILIZACIÓN DE VALORES TIPO DE LA BIBLIOGRAFÍA



# Construcción del modelo de decisión



# Identificación de factores a valorar

- Necesaria reflexión profunda
- Basada en objetivos y riesgos del proyecto y en contexto existente.
- Criterio/factor vs objetivo
- A diferencia de otras decisiones en proyectos de PTAR pueden ser muchos y muy diversos y dependerán de cada contexto.
- Planteamiento: se parte de una serie de objetivos y factores que la experiencia ha determinado que pueden ser más o menos comunes y se adaptan luego al problema concreto.
- La primera identificación de criterios generará como resultado un listado con numerosos factores con distintos grados de dependencia entre ellos:
  - Pueden ser relativos al mismo ámbito o no
  - pueden ser complementarios. p.e. relación instrumentación con costos y complejidad en O&M.
  - pueden estar contrapuestos. p.e. costos O&M y superficie requerida.
- El modelo de decisión tratará de incorporar todos ellos al proceso de toma de decisión de la mejor manera posible → Estructuración clave

# Identificación de factores a valorar

- Los más típicos (desarrollados en el Capítulo 6)

1. Condicionantes del tratamiento
  - a. Calidad requerida del efluente
  - b. Calidad requerida en el lodo
  - c. Variables ambientales
    - i. Temperatura
    - ii. Altitud
  - d. Características del agua residual a tratar
    - i. Concentración de contaminantes
    - ii. Variabilidad de las características
2. Condicionantes de la construcción
  - a. Características del terreno donde se ubicará la PTAR
    - i. Superficie disponible
    - ii. Características topográficas
    - iii. Características geotécnicas
    - iv. Inundabilidad
  - b. Disponibilidad de elementos necesarios para la construcción
    - i. Materiales necesarios
    - ii. Tecnología y equipos necesarios
3. Sostenibilidad técnica
  - a. Complejidad de operación y mantenimiento (capacidad del operador)
  - b. Accesibilidad a equipos de repuesto y mantenimiento especializado
4. Sostenibilidad económica
  - a. Costos de construcción
  - b. Costos de operación y mantenimiento
    - i. Consumo energético
    - ii. Producción y características de los lodos (opciones para su disposición)
5. Sostenibilidad social
  - a. Aceptación por parte de la población
  - b. Impactos potenciales sobre la población y actividades económicas
    - i. Ruidos
    - ii. Olores
    - iii. Impacto visual
  - c. Aceptación por parte del prestador del servicio
6. Sostenibilidad ambiental
  - a. Emisión de gases de efecto invernadero
  - b. Balance energético
  - c. Valorización de lodos
  - d. Reutilización de aguas

- Una vez identificados los factores es necesaria la definición de los atributos a partir de los cuales se realizará la evaluación. p.e. atributos posibles para emisión de gases de efecto invernadero:
  - 1) potencialidad de emisión de gases de efecto invernadero (cualitativo)
  - 2) cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (cuantitativo)

## Estructuración de factores en criterios generales

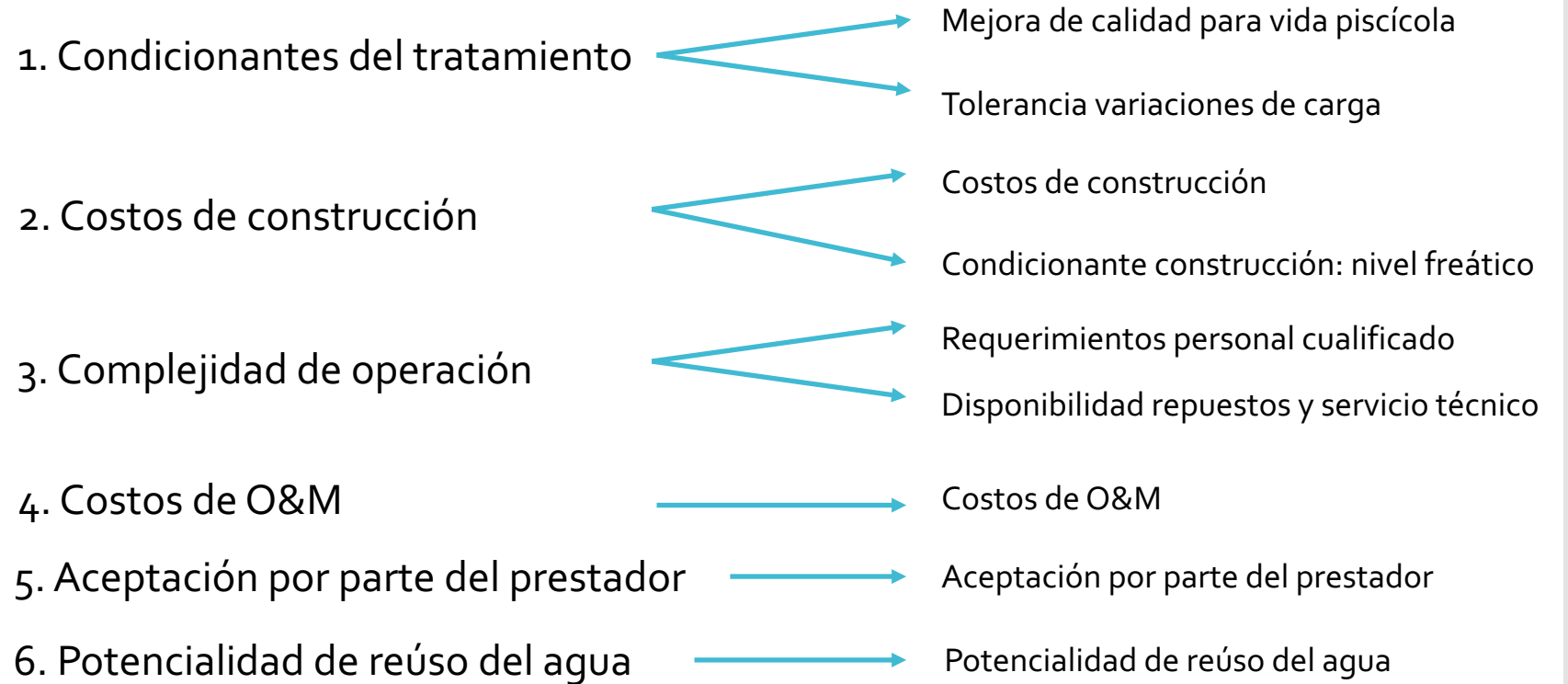
- Objetivo:
  - aportar coherencia, claridad y sencillez al proceso.
  - facilitar el entendimiento de la decisión y la ponderación por parte de distintos agentes interesados.
- No hay reglas genéricas. Dependerá del contexto y la perspectiva del técnico que elabore el modelo de decisión.
- Posibles criterios generales a considerar:
  1. **Condicionantes del tratamiento.** Consideraciones relativas a eficacia de las instalaciones.
  2. **Condicionantes de la construcción.** Aspectos que determinen las posibilidades constructivas y su complejidad.
  3. **Sostenibilidad técnica.** Capacidad del operador para realizar mantenimiento físico, funcional y operativo de la instalación.
  4. **Sostenibilidad económica.** Capacidad económica del operador.
  5. **Sostenibilidad social.** Grado de aceptación, concientización y compromiso por parte de los usuarios.
  6. **Sostenibilidad ambiental.** Necesidades de las generaciones futuras y del medio ambiente en general.

## Estructuración de factores en criterios generales

### Ejemplo estructuración criterios propuesta para el caso práctico

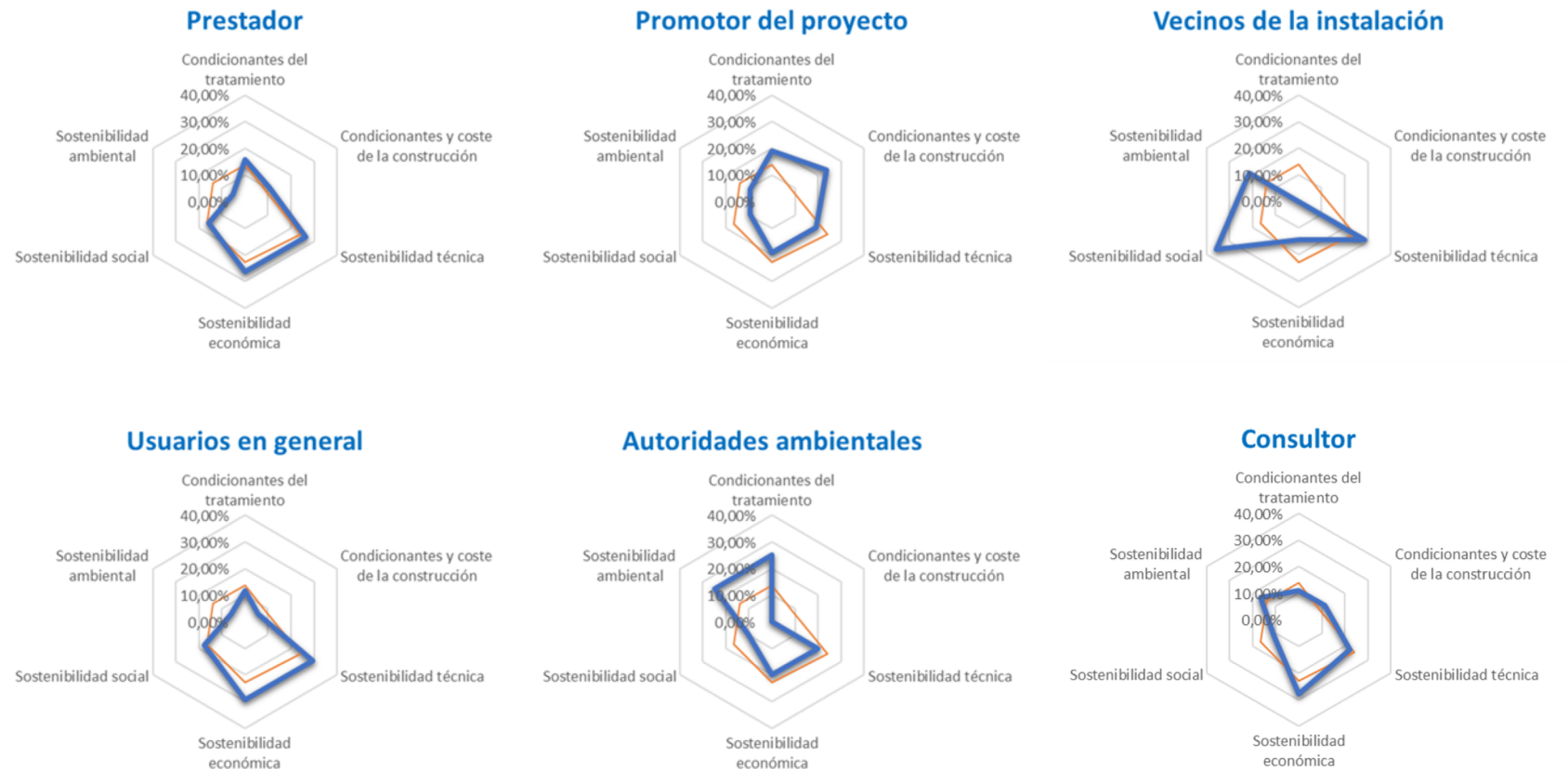
#### *Criterios generales*

#### *Factores*



# Ponderación de criterios

- Evaluar la importancia de cada criterio
- Asignación de un peso a cada criterio
- Importancia del técnico responsable: El ejercicio de ponderación no debe buscar el “peso verdadero”, sino el consenso entre los diferentes agentes que intervienen





# Ponderación de criterios

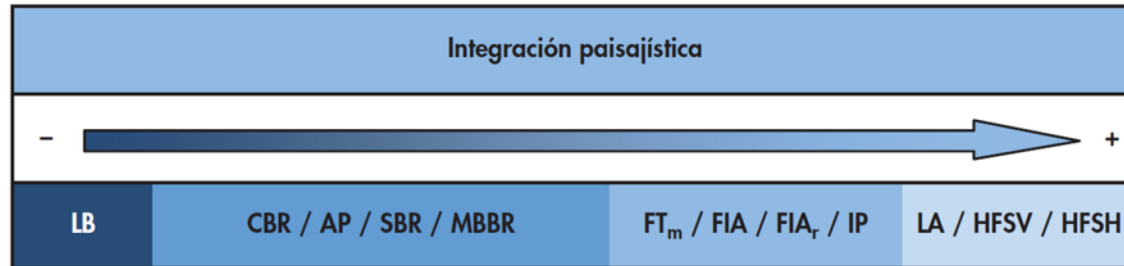
- Incertidumbre en la ponderación:
  - Subjetividad
  - Interdependencia de criterios (p.e. sostenibilidades técnica y económica)
  - Compensación entre criterios hace que la mayor influencia de valores extremos no quede reflejada
  - El peso de un criterio es el mismo independientemente del valor de los atributos evaluados y las diferencias entre alternativas

Método de decisión no es tan sencillo como una suma ponderada de factores → no es un modelo predictivo

- No obstante, ya pesar de todas las dificultades intrínsecas del método, se defiende esta metodología por su sencillez y porque puede ser explicada y entendida de forma fácil por todos los interesados.

# Sistemas de puntuación de cada criterio

- Identificar y medir el atributo de las alternativas a valorar
  - Atributos medidos de forma cualitativa
  - Atributos medidos de forma cuantitativa



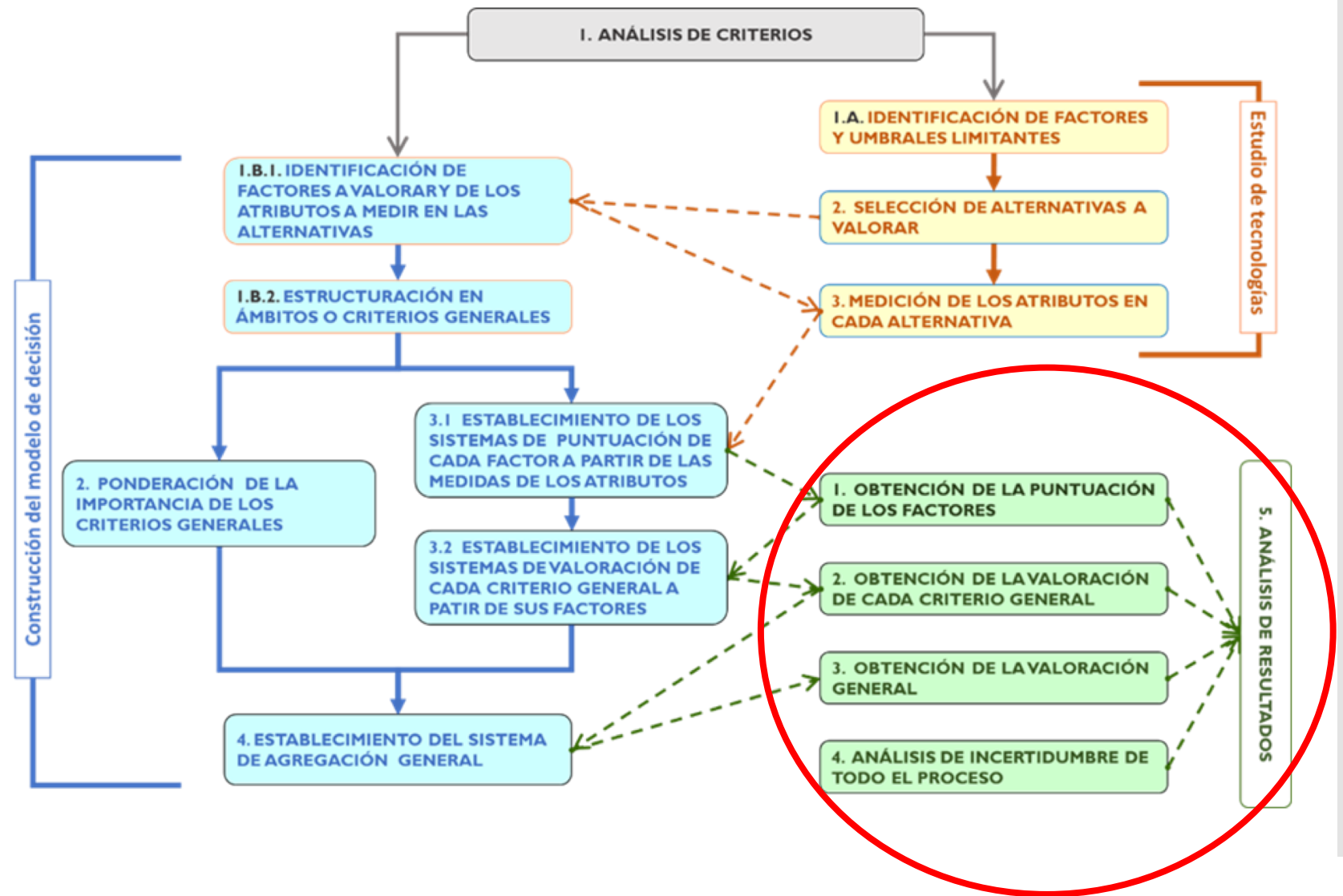
- Procedimiento que traduzca valor del atributo en una representación de su efecto sobre la solución propuesta

Costo con respecto al costo promedio	Valoración
Mayor de un 120% del costo promedio	1
Entre un 105% y un 120% del costo promedio	2
Entre un 95% y un 105% del costo promedio	3
Entre un 80% y un 95% del costo promedio	4
Menor de un 80% del costo promedio	5

- Agregación de la información de cada factor para la valoración de cada criterio general y para la valoración general

$$\text{Resultado } A_i = \sum_n^{j=1} P_j \cdot a_{ji}$$

# Análisis de resultados



# Análisis de resultados

- Valor general agregado

Criterio general	Ponderación criterio	Valoración criterio* Ponderación		AE
		RAFA+FP (piedra)	RAFA+FP (plástico)	
Condicionantes del tratamiento	10%	0,40	0,40	0,50
Costos de construcción	10%	0,40	0,30	0,20
Complejidad de operación	20%	0,60	0,55	0,20
Costos de O&M	40%	1,60	1,20	0,40
Aceptación por parte del prestador	5%	0,20	0,20	0,15
Potencialidad de reúso	15%	0,30	0,30	0,45
<b>Valoración general</b>		<b>3,50</b>	<b>2,95</b>	<b>1,90</b>

- Valoración de cada criterio general

Criterio general: "Complejidad de operación"	Valoración factor	Puntuación * Valoración factor		AE
		RAFA+FP (piedra)	RAFA+FP (plástico)	
Requerimientos de personal cualificado	25%	<b>0,75</b>	<b>0,50</b>	<b>0,25</b>
Disponibilidad de repuestos y servicio técnico	75%	<b>2,25</b>	<b>2,25</b>	<b>0,75</b>
<b>Valoración criterio general</b>		<b>3,00</b>	<b>2,75</b>	<b>1,00</b>

# Análisis de resultados

- Análisis de sensibilidad. Análisis de los criterios más determinantes.

Criterio general	Ponderación criterio	Valoración criterio* Ponderación		AE
		RAFA+FP (piedra)	RAFA+FP (plástico)	
Condicionantes del tratamiento	10%	0,40	0,40	0,50
Costos de construcción	10%	0,40	0,30	0,20
Complejidad de operación	20%	0,60	0,55	0,20
<b>Costos de O&amp;M</b>	<b>40%</b>	<b>1,60</b>	<b>1,20</b>	<b>0,40</b>
Aceptación por parte del prestador	5%	0,20	0,20	0,15
Potencialidad de reúso	15%	0,30	0,30	0,45
<b>Valoración general</b>		<b>3,50</b>	<b>2,95</b>	<b>1,90</b>

- Se evalúan diferentes escenarios de ponderación y de puntuación de factores que podrían ser también adecuados y su influencia en los resultados.
- Se obtienen las conclusiones
- No tiene por qué haber una única solución que se considere adecuada, pudiendo haber varias líneas de tratamiento perfectamente adecuadas

# Análisis de resultados

- Análisis de sensibilidad. Análisis de los criterios más determinantes.

Criterio general	Ponderación criterio	Valoración criterio* Ponderación		AE
		RAFA+FP (piedra)	RAFA+FP (plástico)	
Condicionantes del tratamiento	10%	0,40	0,40	0,50
Costos de construcción	10%	0,40	0,30	0,20
Complejidad de operación	20%	0,60	0,55	0,20
<b>Costos de O&amp;M</b>	<b>40%</b>	<b>1,60</b>	<b>1,20</b>	<b>0,40</b>
Aceptación por parte del prestador	5%	0,20	0,20	0,15
Potencialidad de reúso	15%	0,30	0,30	0,45
<b>Valoración general</b>		<b>3,50</b>	<b>2,95</b>	<b>1,90</b>

- Se evalúan diferentes escenarios de ponderación y de puntuación de factores que podrían ser también adecuados y su influencia en los resultados.
- Se obtienen las conclusiones a raíz del análisis realizado
- No tiene por qué haber una única solución que se considere adecuada, pudiendo haber varias líneas de tratamiento perfectamente adecuadas. En estas circunstancias la decisión final la debería determinar la preferencia del futuro operador de las instalaciones.
- El éxito en la aplicación de esta metodología radica tanto en el conocimiento de la misma, sino en la capacidad del técnico/planificador para establecer adecuadamente los criterios de valoración, así como su ponderación y la valoración de las distintas alternativas, frente a cada criterio de selección y para cada situación concreta.

# Capítulo 6: Análisis de criterios

1. Condicionantes del tratamiento
  - a. Calidad requerida del efluente
  - b. Calidad requerida en el lodo
  - c. Variables ambientales
    - i. Temperatura
    - ii. Altitud
  - d. Características del agua residual a tratar
    - i. Concentración de contaminantes
    - ii. Variabilidad de las características
2. Condicionantes de la construcción
  - a. Características del terreno donde se ubicará la PTAR
    - i. Superficie disponible
    - ii. Características topográficas
    - iii. Características geotécnicas
    - iv. Inundabilidad
  - b. Disponibilidad de elementos necesarios para la construcción
    - i. Materiales necesarios
    - ii. Tecnología y equipos necesarios
3. Sostenibilidad técnica
  - a. Complejidad de operación y mantenimiento (capacidad del operador)
  - b. Accesibilidad a equipos de repuesto y mantenimiento especializado

# Capítulo 6: Análisis de criterios

4. Sostenibilidad económica
  - a. Costos de construcción
  - b. Costos de operación y mantenimiento
    - i. Consumo energético
    - ii. Producción y características de los lodos (opciones para su disposición)
5. Sostenibilidad social
  - a. Aceptación por parte de la población
  - b. Impactos potenciales sobre la población y actividades económicas
    - i. Ruidos
    - ii. Olores
    - iii. Impacto visual
  - c. Aceptación por parte del prestador del servicio
6. Sostenibilidad ambiental
  - a. Emisión de gases de efecto invernadero
  - b. Balance energético
  - c. Valorización de lodos
  - d. Reutilización de aguas



# Capítulo 6: Análisis de criterios

Para cada factor se expone:

- Descripción de su razón de ser y de sus características
- Análisis de sus dos facetas:
  - Respecto a la importancia que podría tener ese factor en el análisis
  - Respecto a como la tecnología responde a ese factor para identificar los atributos más adecuados y los métodos que podrían ser adecuados para la puntuación.

*Tabla. Tolerancia a las variaciones de caudal de las aguas a tratar de algunas líneas de tratamiento (MMAyA, 2021)*

Tolerancia a variaciones de caudal	Líneas de tratamiento
Muy buena	LAG / HUMh
Buena	HUMv / AE
Regular	FP <sup>1</sup> / FAFA / LOMB / CBR / RAFA+LAG / RAFA+FP <sup>1</sup> / RAFA+CBR

<sup>1</sup>En caso de que los Filtros Percoladores cuenten con recirculación, presentan una mayor flexibilidad ante variaciones de caudal y concentración.

# Capítulo 6: Análisis de criterios

---

## **Muy importante**

Pequeñas poblaciones donde no hay previsto ningún elemento de laminación de caudal previo a la PTAR y que, además, cuenten con un riesgo significativo de que el vertido intermitente de una actividad singular pueda causar variaciones sustanciales con respecto a los valores medios esperados.

---

## **Importante**

Pequeñas poblaciones donde no hay previsto ningún elemento de laminación de caudal previo a la PTAR o poblaciones que cuenten con un riesgo significativo de que el vertido intermitente de una actividad singular pueda causar variaciones significativas con respecto a los valores medios esperados.

Poblaciones con un marcado carácter turístico que sufren una variación de población muy importante en determinadas épocas del año.

---

## **Influye en la decisión**

Poblaciones que no cuentan con elementos de laminación de caudal previos a la PTAR y en las que, o bien por la reducida extensión de su red de saneamiento, o bien por la intermitencia relativa de los vertidos singulares existentes, cuentan con variaciones de caudal mayores a las habituales.

---

## **Intrascendente**

Poblaciones de tamaño medio o grande en las que no se prevén variaciones de caudal y carga diferentes a las habituales.

---

Muchas  
gracias por su  
atención



Carlos López Monllor: [carlos.lopez@cedex.es](mailto:carlos.lopez@cedex.es)