

Proceso de Análisis Jerárquico

Analytical Hierarchy Process (AHP)

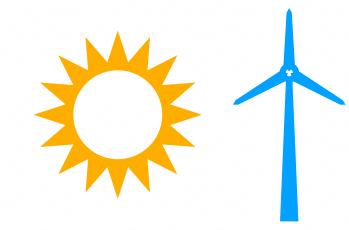
Parte 2: AHP Espacial

Denis Berroeta González

Santiago, 2023

Agenda

- Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA)
- Definición Proceso de Análisis Jerarquizado (AHP)
- Etapas de AHP
 - Participación de Actores de Interés
 - Matriz de Comparación
 - Análisis de Consistencia
 - Cálculo del Vector de Ponderación
- **Cálculo Espacial**
 - Transformar geometrías a Raster
 - Discretización de variables espaciales de acuerdo a criterios
 - Cálculo de superposición ponderado por los criterios AHP (w)
 - Filtros o restricciones posteriores
- Ventajas de Uso de AHP
- Roadmap



Contexto: Proyecto Generadoras Chile

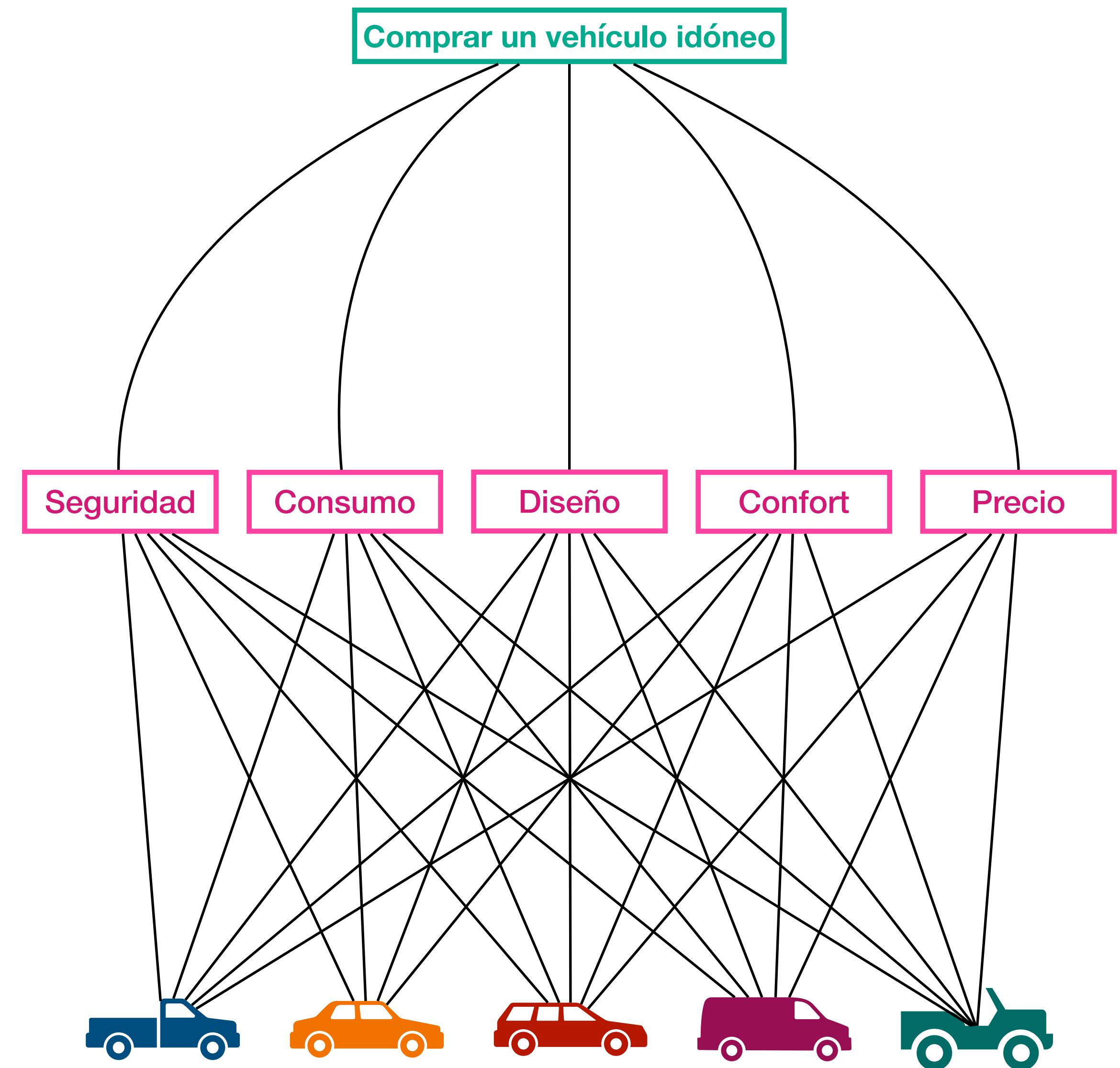
Etapa 1: Desarrollo de estándares para la localización de proyectos de generación eléctrica

Actividad 2: Análisis Multicriterio Territorial

Análisis de Decisiones Multicriterio

La toma de decisiones multicriterio es un enfoque utilizado para facilitar la consideración de múltiples criterios por parte de los responsables de la toma de decisiones.

El análisis de decisión multicriterio (MCDA) se utiliza para evaluar y comparar lógicamente múltiples criterios, a menudo contradictorios, con el fin de tomar la mejor decisión posible.



Proceso de Análisis Jerarquizado (AHP)

	Safety	Design	After Sales Service	Fuel Consumption	Performance
Safety	1.00	3.00	4.00	5.00	7.00
Design	0.33	1.00	2.00	2.00	4.00
After Sales Service	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00
Fuel Consumption	0.20	0.50	0.50	1.00	3.00
Performance	0.14	0.25	0.33	0.33	1.00
TOTAL	1.93	5.25	7.83	10.33	18.00

Fig. Ejemplo de matriz de comparación de Criterios.

AHP (Proceso de Análisis Jerárquico) es un método de decisión multicriterio desarrollado por Thomas Saaty en 1980. El método es una técnica para organizar y ponderar opiniones y datos para ayudar a tomar decisiones complejas.

Utiliza una **matriz** de comparación para asignar ponderaciones a criterios y opciones a través de un proceso de **jerarquización**. Estas ponderaciones se utilizan para calcular un índice de preferencia global que ayuda a determinar qué opción es la mejor.

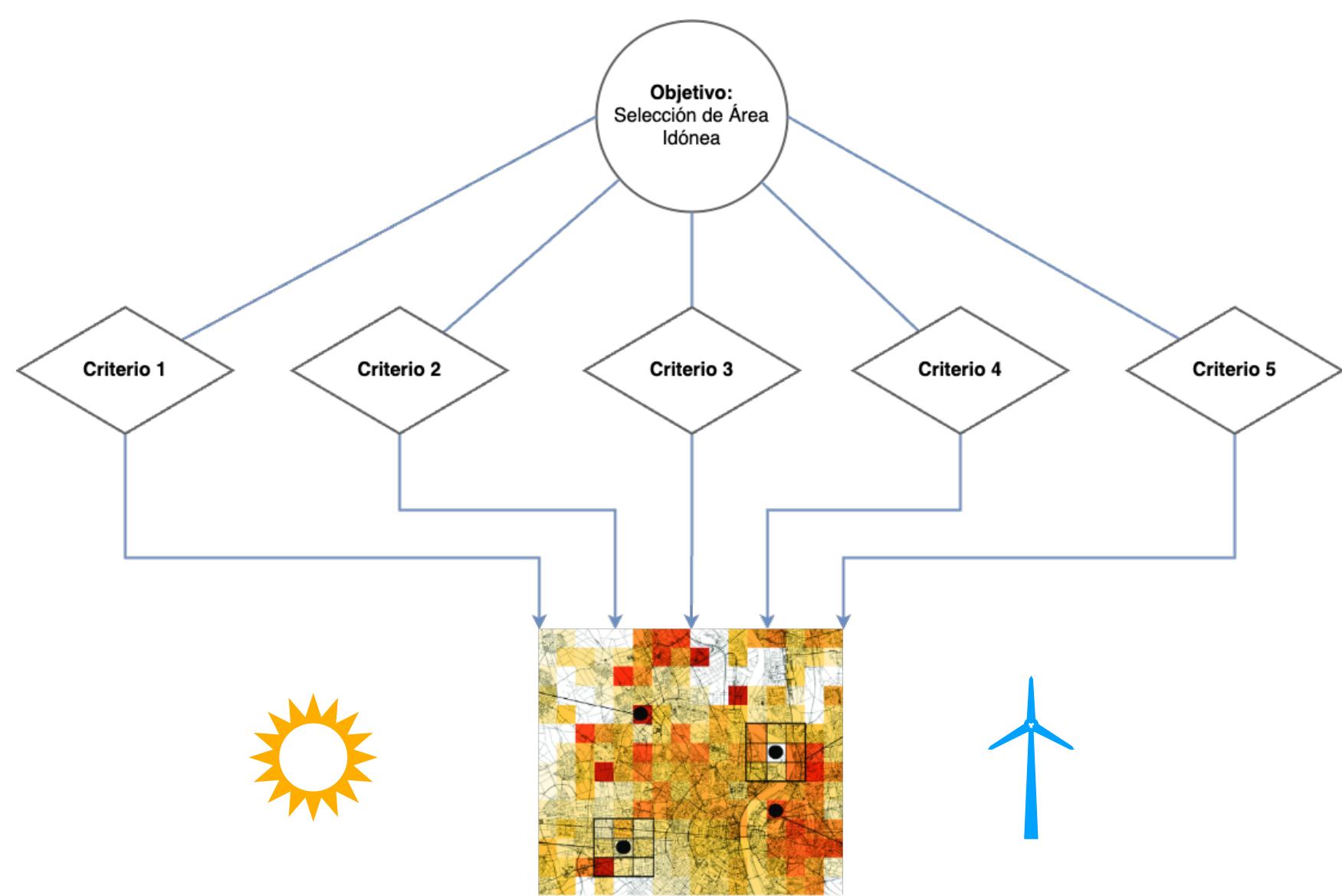


Fig. Ejemplo para decisiones espaciales

La aplicación del AHP puede ser utilizada para la selección de proyectos, la evaluación de riesgos, la toma de decisiones financieras y como en el caso del proyecto la selección de zonas para construcción de plantas de generación de energía.

Etapas AHP: Participación de Actores

Selección de **variables** que intervienen en el proceso de selección de zonas idóneas, por cada una de las diferentes temáticas que influyen en el territorio.

- Ambiental
- Social
- Económica
- Infraestructura
- Normativa
- Técnica



Definición de **Criterios** de evaluación, que transforma las variables en rangos para su posterior clasificación espacial discreta. Ej:

- 1: Inaceptable
- 2: Inapropiado
- 3: Moderadamente apropiado
- 4: Apropiado
- 5: Extremadamente apropiado



Expertos

Empresas

Actores claves
y la comunidad



Etapas AHP: Matriz de Comparación

La Matriz de Comparación de AHP es una herramienta para evaluar y asignar ponderaciones a criterios y opciones. La matriz consiste en una serie de filas y columnas que contienen todos los criterios y opciones que se están evaluando.

La matriz se llena con una serie de valores que representan la importancia relativa de cada criterio o opción en relación con los demás.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & a_{1,3} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & 1 & a_{2,3} & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & a_{n,3} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

El objetivo de la matriz de comparación AHP es ayudar a los tomadores de decisiones a evaluar y jerarquizar los criterios y opciones para tomar decisiones objetivas.

Criterios

A	Asentamientos humanos
B	Características del viento
C	Clasificación climática
D	Tierras indígenas
E	Otras áreas de protección ambiental

Matriz

	A	B	C	D	E
A	1	7	5		
B	1/7	1			
C	1/5		1		
D				1	
E					1

Escala de Valoración

Valor	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos criterios o elementos contribuyen de igual forma al cumplimiento del objetivo
3	Importancia moderada de un criterio sobre el otro	La experiencia y el juicio favorecen levemente una actividad sobre la otra
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra y su predominancia se demostró en la práctica
9	Importancia extrema o absoluta	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta y totalmente clara
2, 4, 6, 8	Valores Intermedios	Cuando es necesario llegar a un compromiso entre dos sentencias adyacentes

Etapas AHP: Análisis de Consistencia

Para validar la consistencia razonable de los juicios en la matriz de comparación por pares se realiza un análisis de consistencia.

$$A > B > C$$

Entonces no puede ser

$$C > A$$

Paso 1) A la matriz comparación A se le aplica una descomposición Matricial y se obtiene vector propio principal que representa el grado en que las alternativas se han priorizado.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{1,2} & a_{1,3} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & 1 & a_{2,3} & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & a_{n,3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \lambda_{max}$$

Paso 2) se calcula el índice de consistencia (IC) y la razón de consistencia (RC). El autor propone un parámetro llamado índice de consistencia aleatorio (IA), que varía de acuerdo con el tamaño de la matriz A

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

λ_{max} Valor propio dominante

n Tamaño de la Matriz

IC índice de consistencia

RC razón de consistencia

IA índice de consistencia aleatorio

Parámetros de IA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54

Etapas AHP: Vector de Ponderaciones

Luego de construir la matriz de comparación por pares y el análisis de consistencia de misma, se procede a calcular el vector de prioridades o de ponderación.

(w)

Este vector indica la influencia de un criterio sobre el objetivo global, o dicho de otra forma se interpreta cómo **los pesos asignados a cada alternativa en términos de su prioridad**.

(w)

A	Asentamientos humanos	0.3
B	Características del viento	0.2
C	Clasificación climática	0.1
D	Tierras indígenas	0.2
E	Otras áreas de protección ambiental	0.2

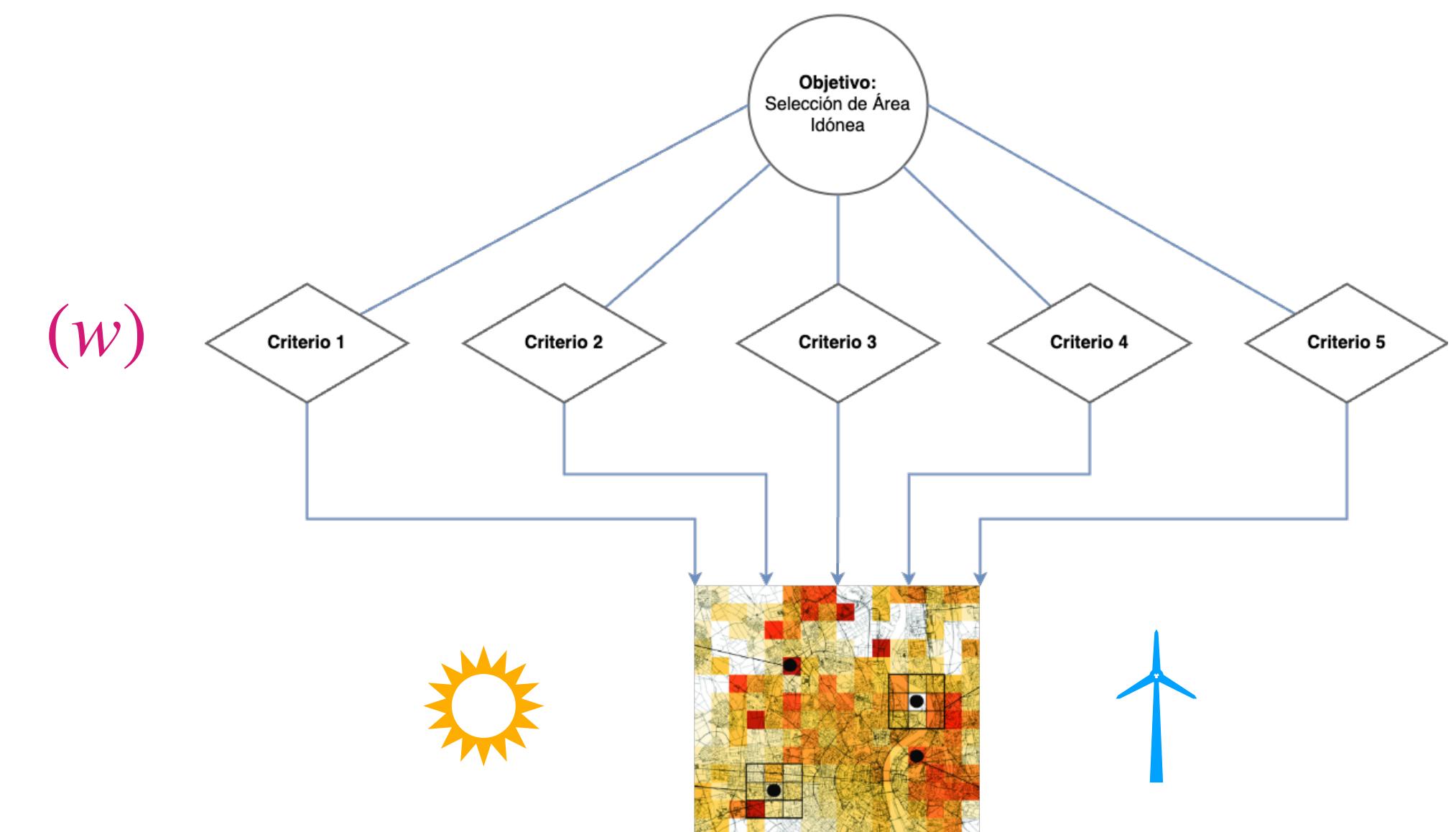
Existen múltiples formas de calcular este vector, una de ellas es usando el método del vector propio principal tal que:

$$A \times W = \lambda_{max} \times w$$

Forma 1: Eigen Vector de Matriz normalizada

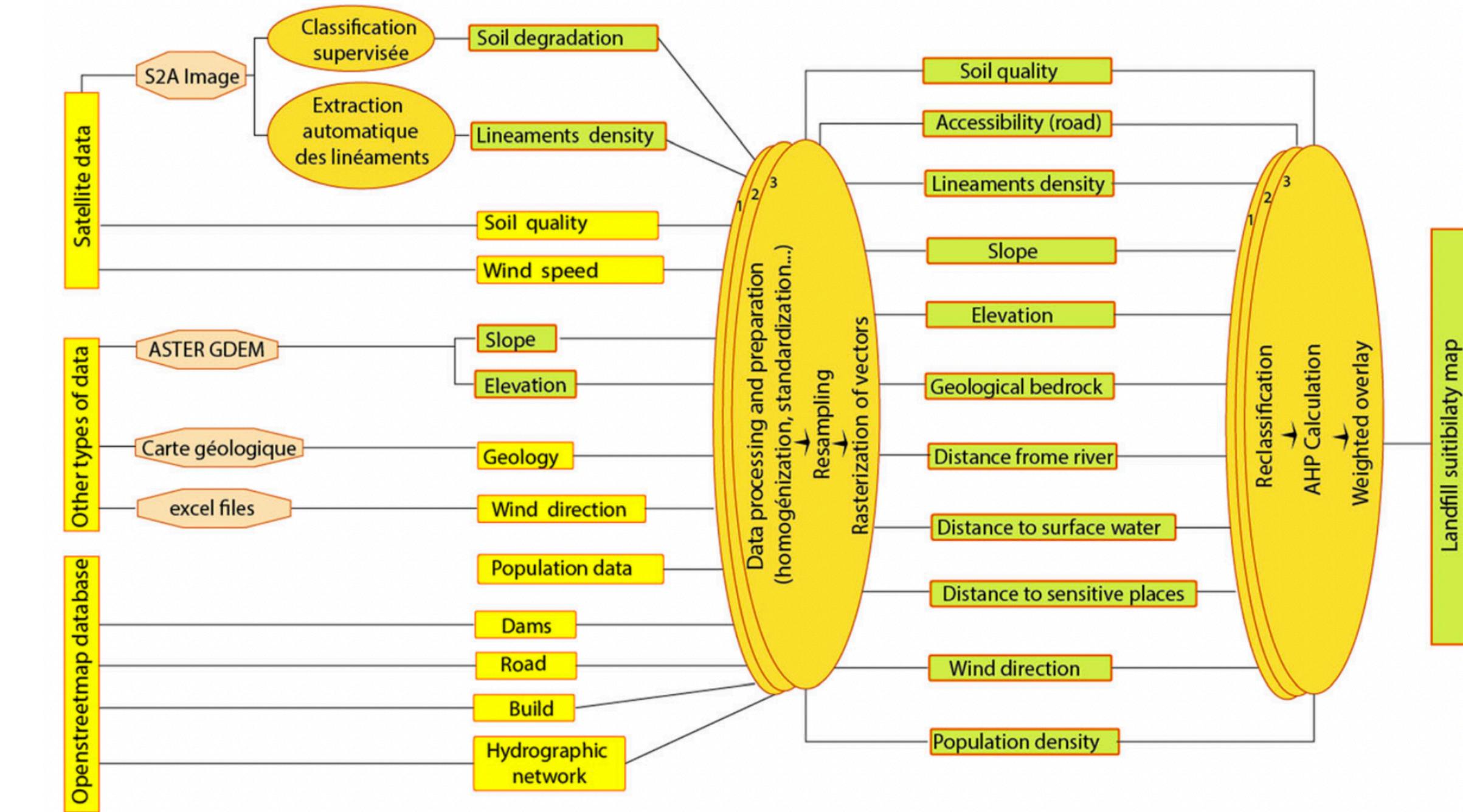
Forma 2: Métodos de Potencias (aproxima)

Códigos



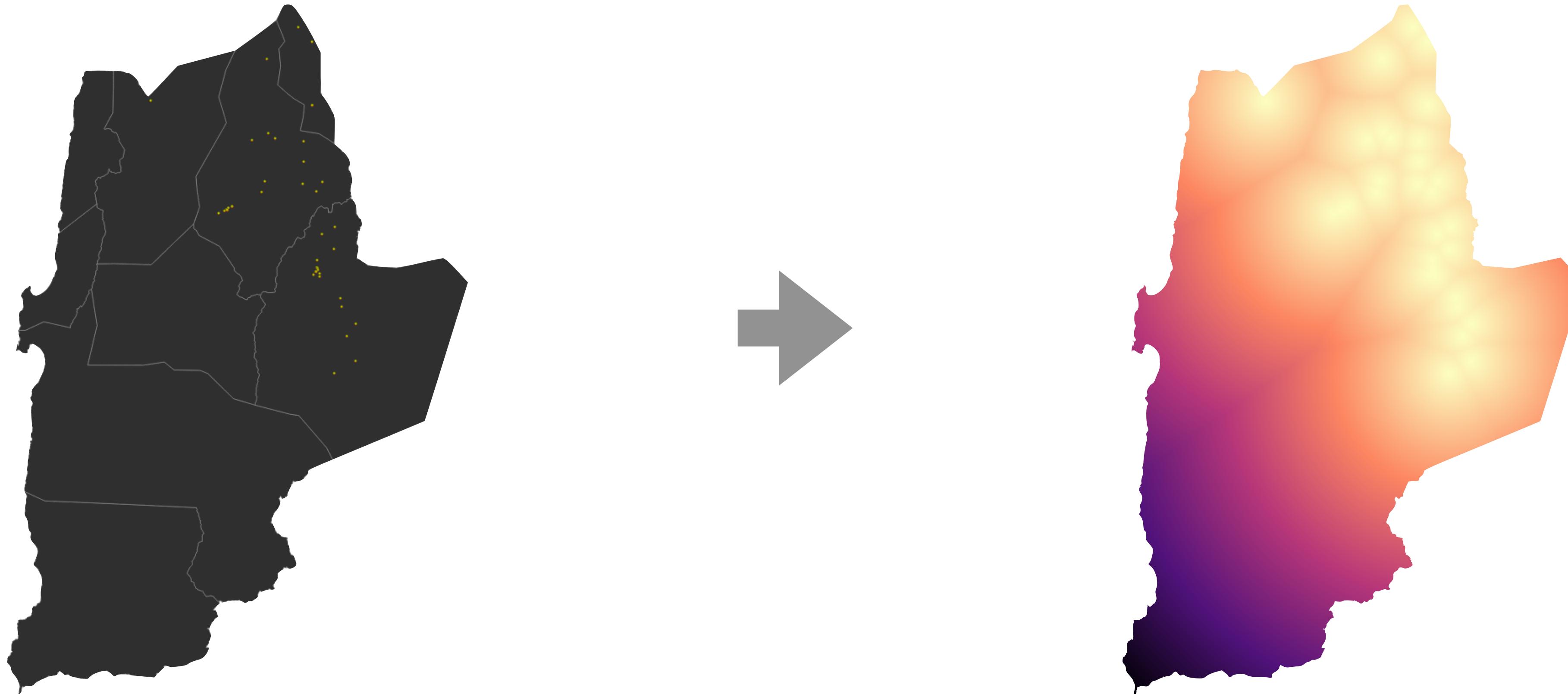
AHP Espacial

- Transformar geometrías a Raster
- Discretización de variables espaciales de acuerdo a criterios
- Estandarización y homologación
- Cálculo de superposición ponderado por los criterios AHP (w)
- Filtros o restricciones posteriores
- Análisis de Resultados



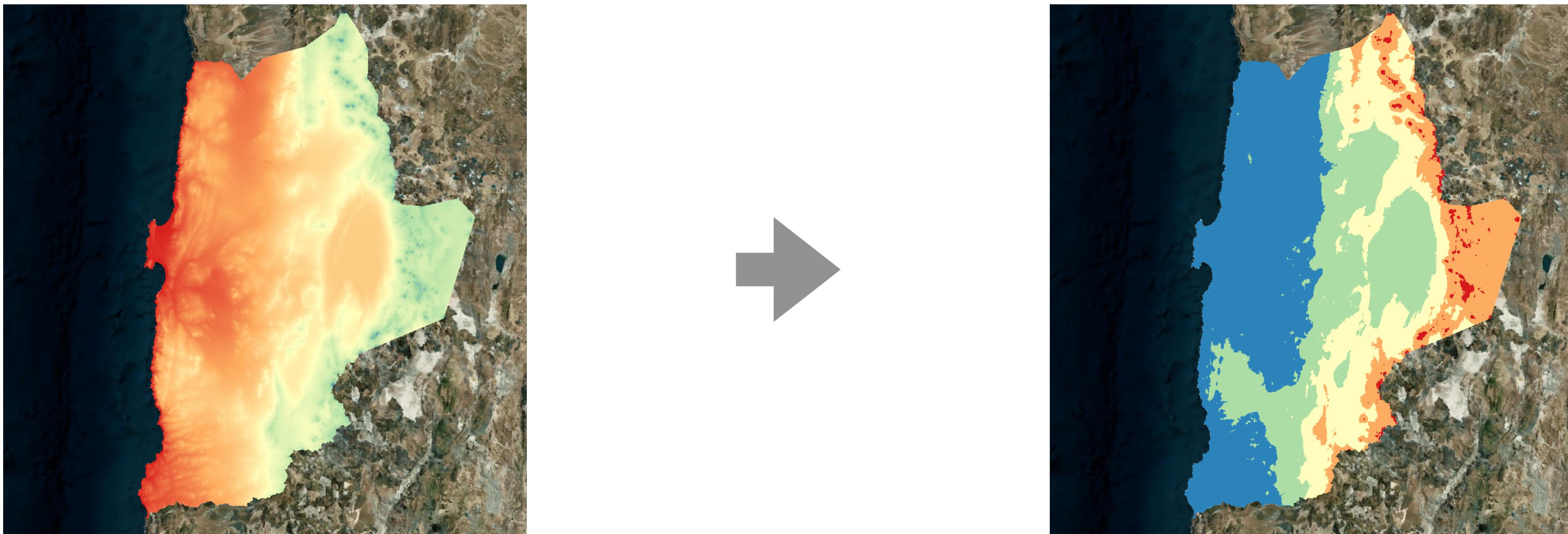
AHP Espacial: Geometría a Raster

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$



- Geometrías de puntos a Raster de Distancias Euclidianas

AHP Espacial: Discretización de variables

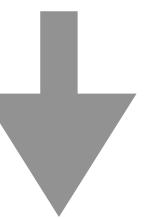


A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Energia	Var	Codigo	File_name	Min_good	Decisión	R1	R2	R3	R4	R5
EOLICA	ZMILTARES	EOL-ZMIL	R02_ZMilitares.tif	F	Piloto	5000	10000	20000	30000	MAX
EOLICA	APOBLADAS	EOL-APOB	R02_APobladas.tif	F	Piloto	2000	5000	20000	40000	MAX
EOLICA	RIESGOS	EOL-RIES	R02_Riesgos.tif	F	Piloto	10000	20000	40000	60000	MAX
EOLICA	CINDIGENAS	EOL-CIND	R02_Clndigenas.tif	F	Piloto	2000	5000	20000	40000	MAX
EOLICA	PENDIENTE	EOL-PEND	R02_Pendiente.tif	T	Piloto	10	15	20	40	MAX
EOLCIA	DEM	EOL-DEM	R02_DEM.tif	T	Piloto	2000	3000	4000	5000	MAX

- Discretización de variables espaciales de acuerdo a criterios
- Estandarización y homologación

AHP Ponderación de Criterios

	EOL-ZMIL	EOL-APOB	EOL-RIES	EOL-CIND	EOL-PEND	EOL-DEM
EOL-ZMIL	1.00	3.00	0.33	5.00	5.00	7.00
EOL-APOB	0.33	1.00	0.33	0.33	7.00	9.00
EOL-RIES	3.00	3.00	1.00	1.00	7.00	9.00
EOL-CIND	0.20	3.00	1.00	1.00	9.00	9.00
EOL-PEND	0.20	0.14	0.14	0.11	1.00	5.00
EOL-DEM	0.14	0.11	0.11	0.11	0.20	1.00

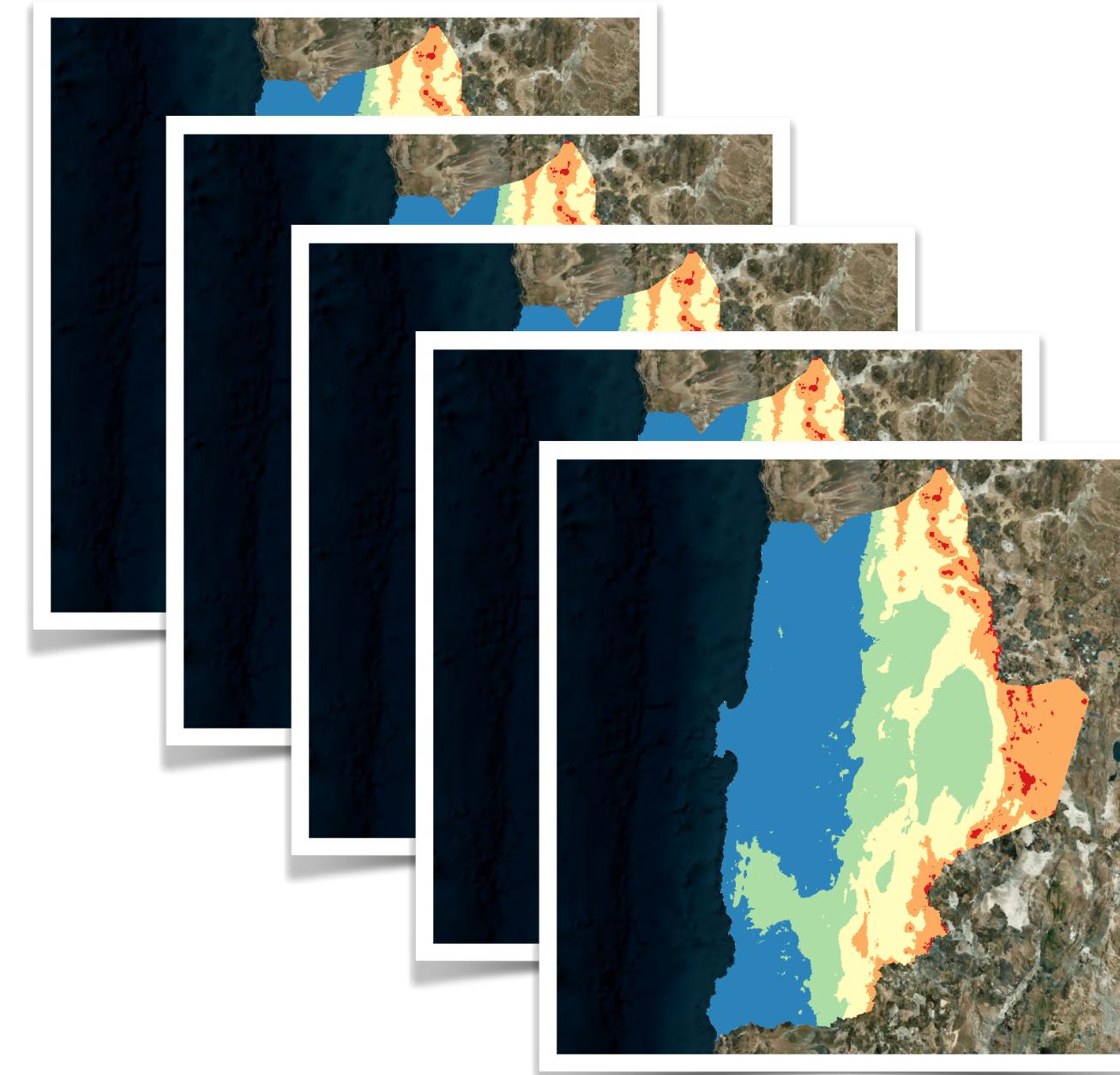


CODIGO	PONDERACIÓN (w)
EOL-CIND	0.20720977
EOL-ZMIL	0.29982261
EOL-APOB	0.11940790
EOL-RIES	0.31378633
EOL-DEM	0.01990008
EOL-PEND	0.03987330

w_i

w_i los pesos asignados a cada Criterio en términos de su prioridad conforme a la matriz de comparación.

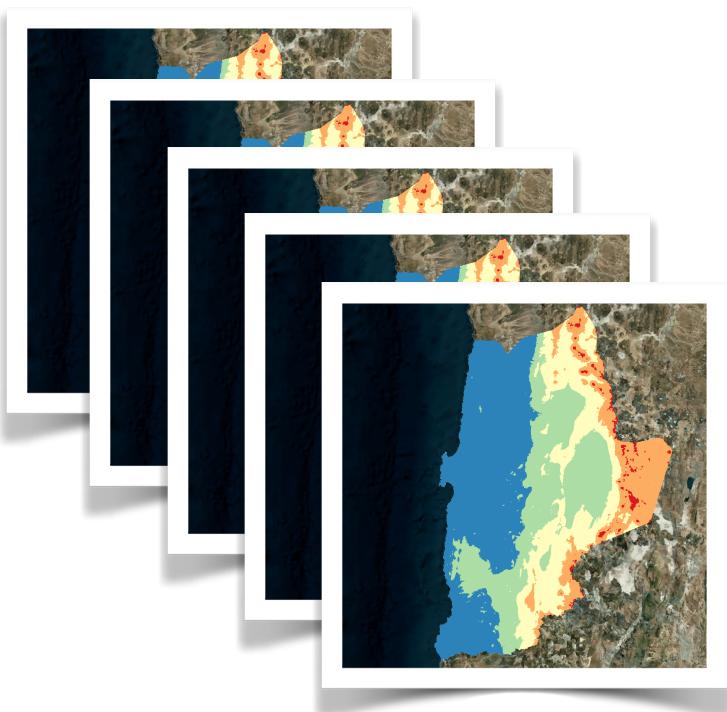
Ponderación de criterios por W respectivo



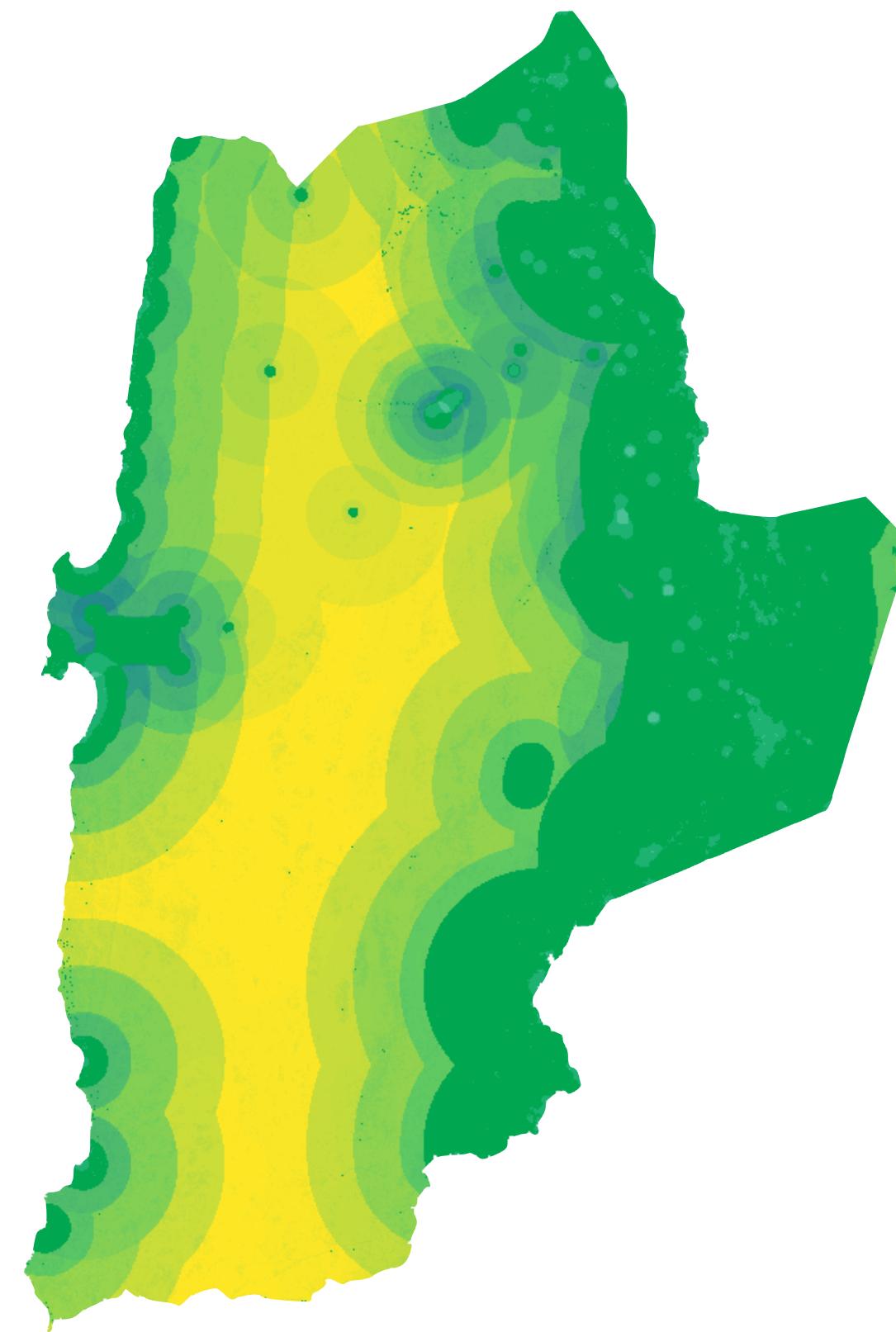
AHP Espacial: Superposición Ponderada

Superposición (suma) de los criterios ponderados

$$\text{Zonas Idoneas} = \sum \text{Criterio} \times W_i$$

$$\Sigma$$


$$\times \quad w_i$$



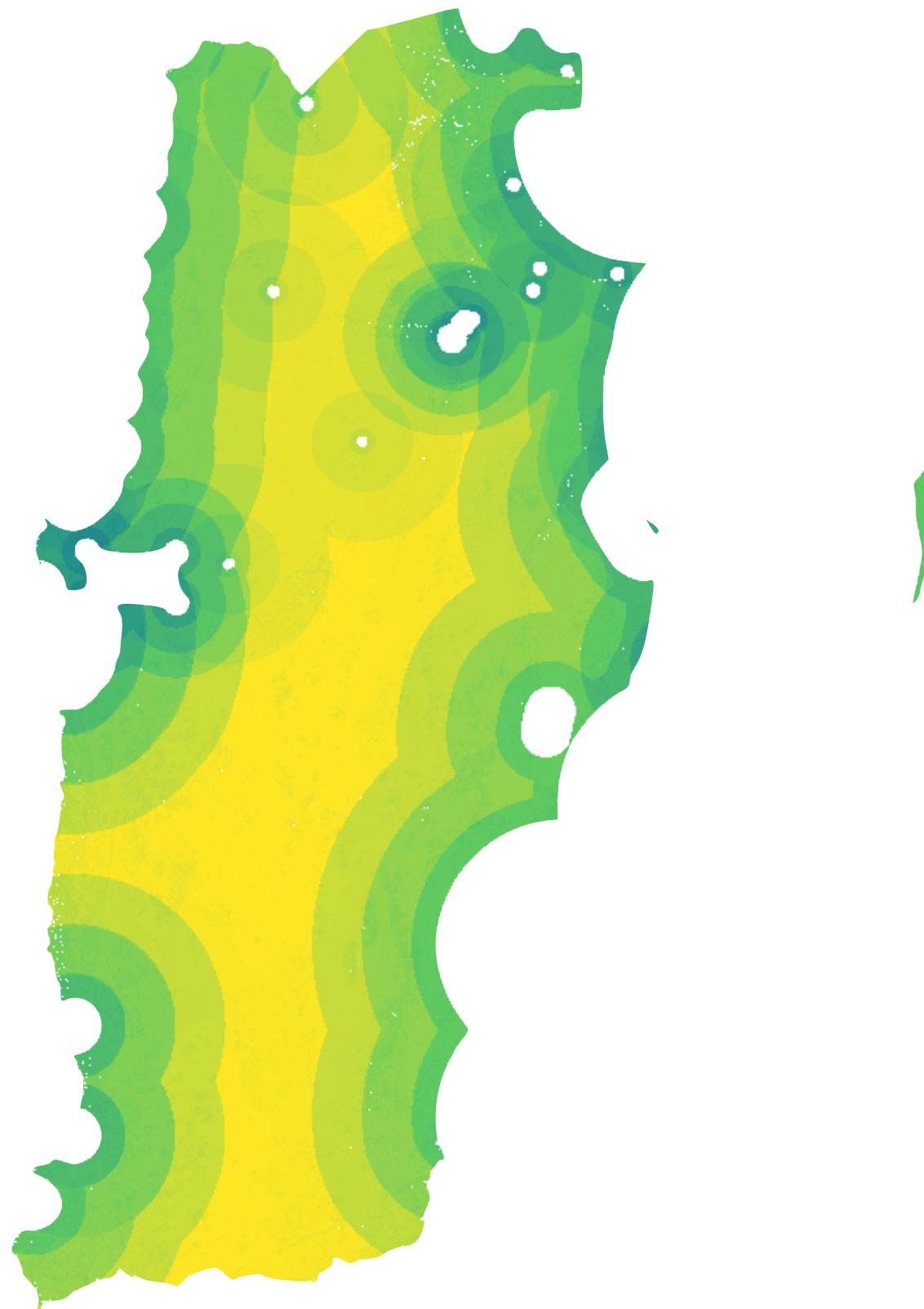
Se obtiene un raster de valores continuos de zonas idóneas de acuerdo a jerarquización AHP

AHP Espacial: Filtros de Restricción

Descartar zonas restrictivas como criterios rango 1



AHP Espacial: Análisis de Resultados



Los resultados es un Raster que nuevamente se puede categorizar, por umbrales definidos o estándar, para facilitar la poligonización.

Los resultados corresponde a un piloto con solo 6 criterios a evaluar para una región completa, entonces es lógico que las zonas idóneas sean extensas.

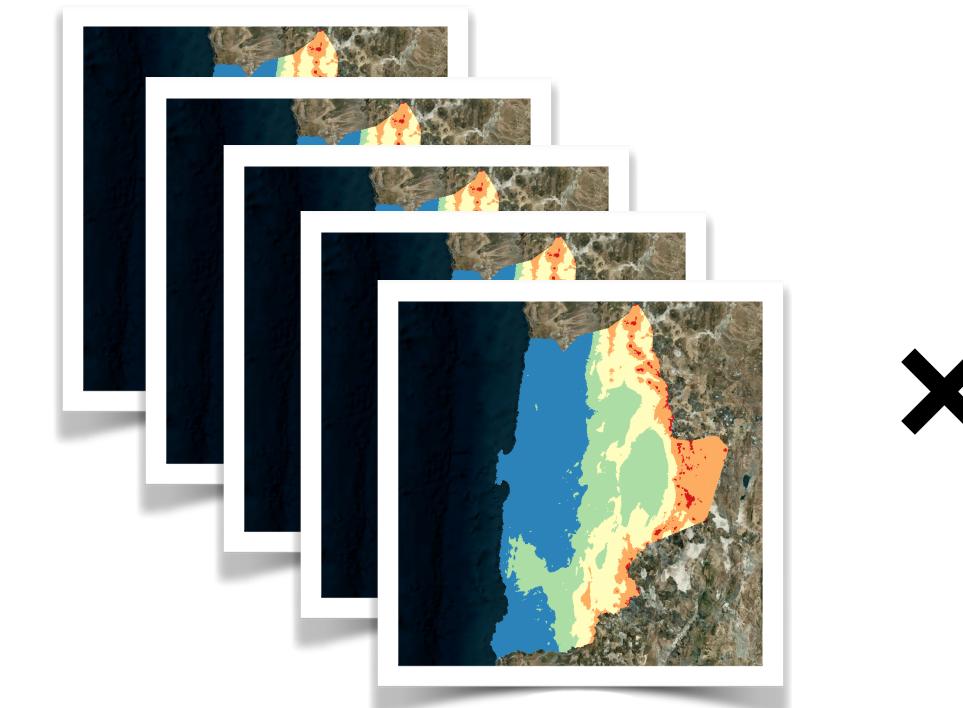
Se cumplió el objetivo del piloto, ya que se replicó la metodología completa del análisis multicriterio mediante AHP y cuyo resultado son expresados espacialmente.

Se implementó el piloto con una resolución espacial de 30 metros por pixel, utilizando R a fin de tener un alta performance y facilitando se reproducibilidad

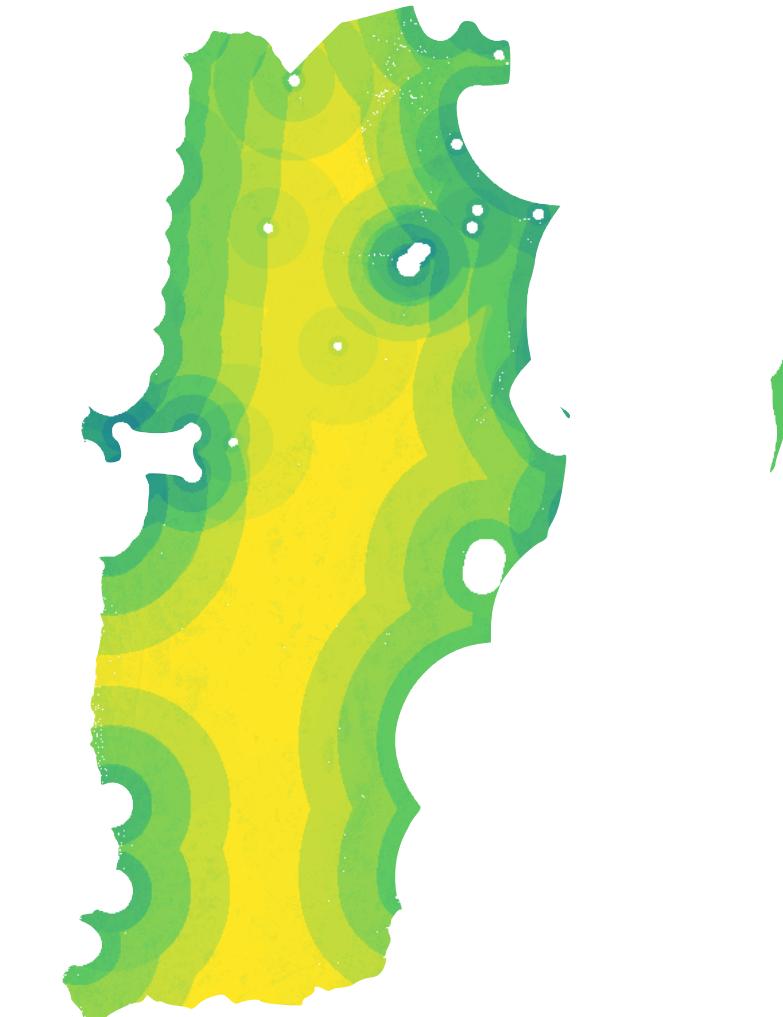
Ventajas de Uso de AHP

- Un enfoque más estructurado para medir la idoneidad al dividir el problema en criterios jerárquicos.
- Un análisis más sistemático y profundo de los factores, que pueden comprenderse mejor al examinar específicamente sus formas o indicadores inferiores y más específicos.
- El AHP permite la participación tanto de expertos como de partes interesadas en la aportación de información. Dicho marco permite incorporar y acomodar criterios tanto cualitativos como cuantitativos y la aportación de conocimientos de expertos y actores locales.

	EOL-ZMIL	EOL-APOB	EOL-RIES	EOL-CIND	EOL-PEND	EOL-DEM
EOL-ZMIL	1.00	3.00	0.33	5.00	5.00	7.00
EOL-APOB	0.33	1.00	0.33	0.33	7.00	9.00
EOL-RIES	3.00	3.00	1.00	1.00	7.00	9.00
EOL-CIND	0.20	3.00	1.00	1.00	9.00	9.00
EOL-PEND	0.20	0.14	0.14	0.11	1.00	5.00
EOL-DEM	0.14	0.11	0.11	0.11	0.20	1.00



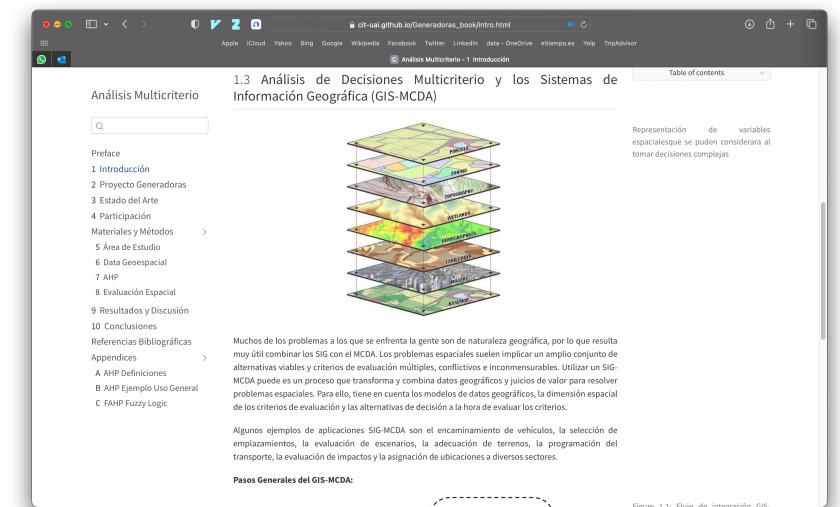
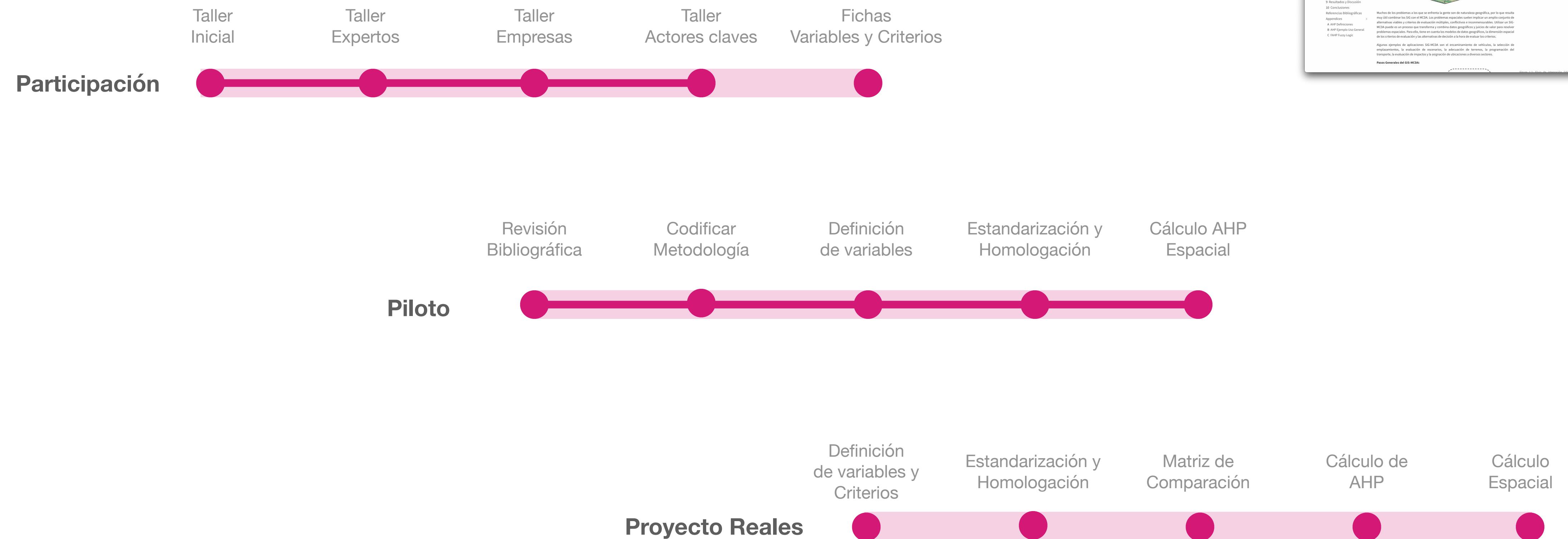
CODIGO	PONDERACIÓN (w)
EOL-CIND	0.20720977
EOL-ZMIL	0.29982261
EOL-APOB	0.11940790
EOL-RIES	0.31378633
EOL-DEM	0.01990008
EOL-PEND	0.03987330



Roadmap

Avances se van publicando en el book digital:

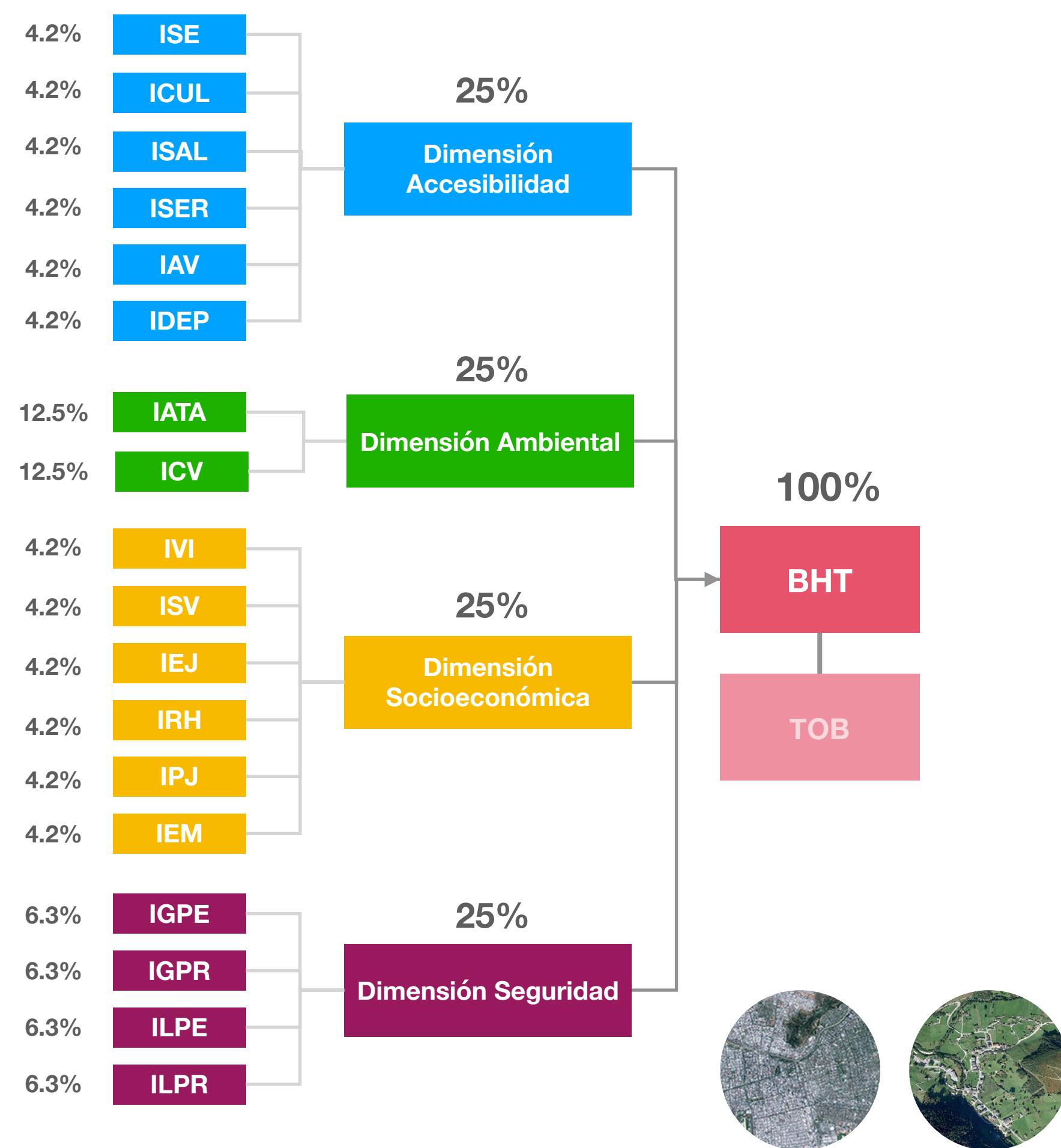
https://cit-uai.github.io/Generadoras_book/



Usabilidad en el CIT

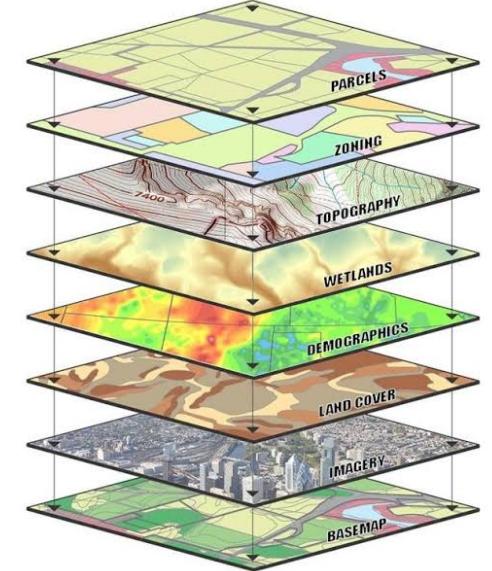
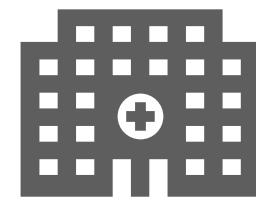
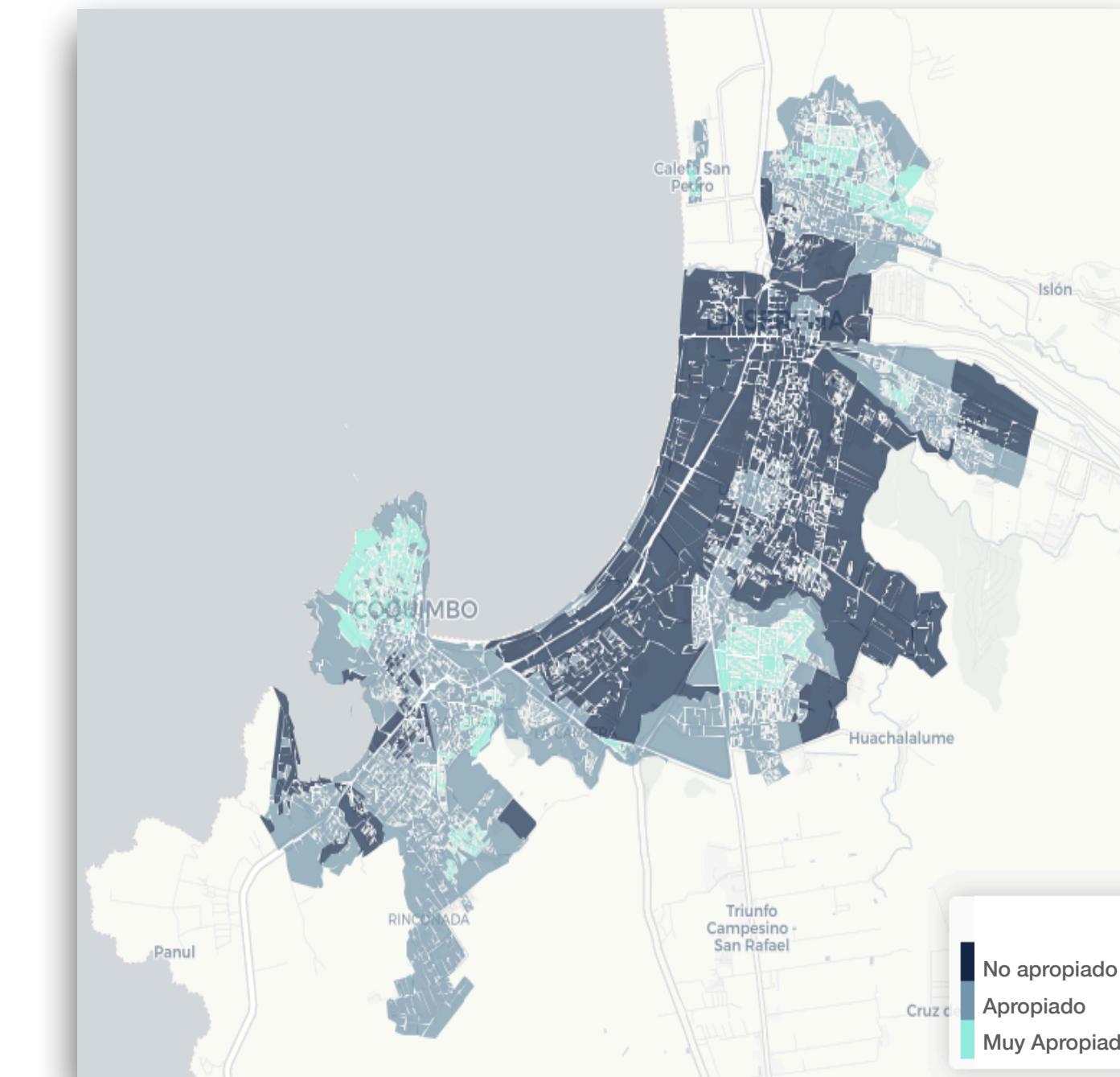
BHT Local

(w) Ponderaciones sensibles a necesidades locales

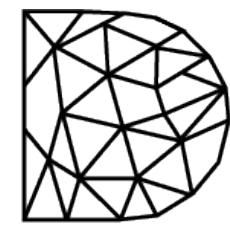


Análisis Prescriptivo:

Optimización Posterior: Reducción del espacio de búsqueda de zonas candidatas “muy apropiado”



Priorización ...



CENTRO DE INTELIGENCIA
TERRITORIAL
DESIGN.LAB
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ



UAI
UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

Consultas

Proceso de Análisis Jerárquico
Analytical Hierarchy Process (AHP)