

Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la distribución de aerogeneradores

Antonio José Romero Barrera

ÍNDICE

- 01 - **Introducción**
- 02 - **Estado del arte**
- 03 - **Marco teórico**
- 04 - **Requisitos y datos**
- 05 - **Herramienta desarrollada**
- 06 - **Evaluación de resultados**
- 07 - **Conclusiones y líneas futuras**

「APARTADO 01 INTRODUCCIÓN」

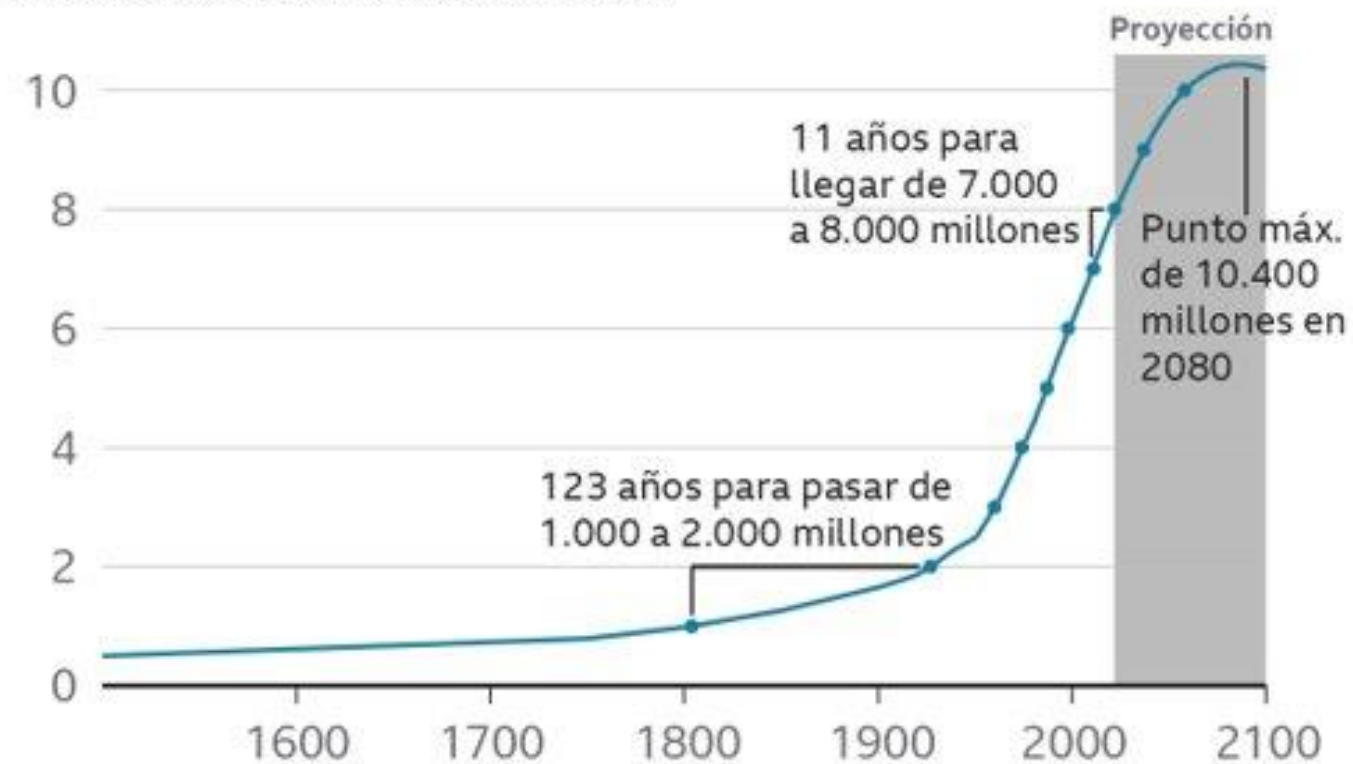
Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la
distribución de aerogeneradores

Apartado 01

Introducción

La Tierra alcanzó los 8.000 millones de habitantes en 2022

Población en miles de millones



Fuente: División de Población de la ONU

BBC



Naciones Unidas



Unión Europea

enza

European Net Zero Alliance



Alliance for
Zero-Emission
Aviation



Apartado 01

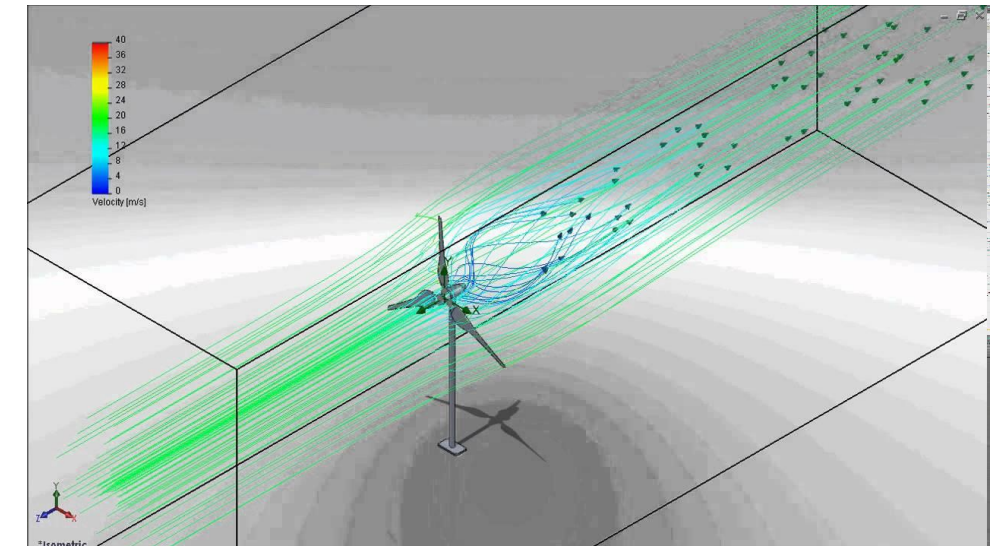
Introducción

Quiero mejorar el funcionamiento y eficiencia de un parque eólico...

¿Cómo obtengo mayores valores de energía generada?

¿Dónde posiciono cada uno de los aerogeneradores?

¿Cómo simulo el funcionamiento aerodinámico de las turbinas eólicas?

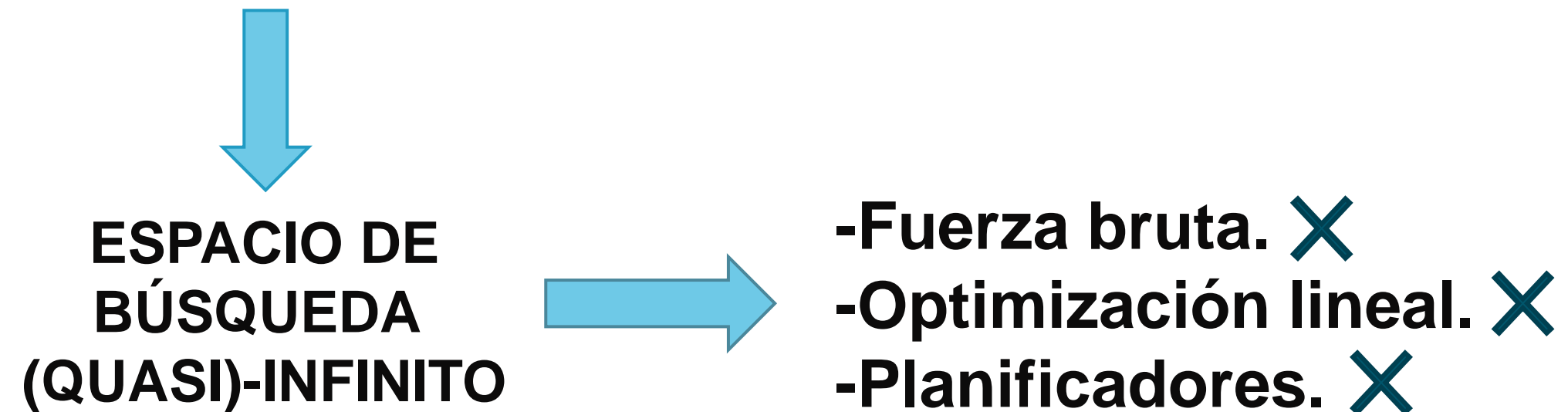


Apartado 01

Introducción

Número total de posibles combinaciones de aerogeneradores (soluciones)

Configuración de 30x30 con 30 turbinas



Apartado 01

Introducción

Algoritmos metaheurísticos

Algoritmos metaheurísticos basados en trayectorias	Algoritmos metaheurísticos basados en población
Búsqueda Tabú	Algoritmos genéticos
Recocido simulado	Enjambre de partículas
Búsqueda local	Algoritmos meméticos
Búsqueda de descenso por gradiente	Algoritmos de organización colonial
Búsqueda de vecindario variable	Evolución diferencial
⋮	⋮

Características y propiedades:

- Uso recomendado en problemas de optimización complejos que requieren gran magnitud de datos y operaciones.
- Basadas en los sucesos observados en los procesos de la naturaleza.
- No encuentran la mejor solución, pero sí una solución muy próxima a ella en tiempos asumibles.

SELECCIÓN DE METODOLOGÍA

Tabla de ponderación

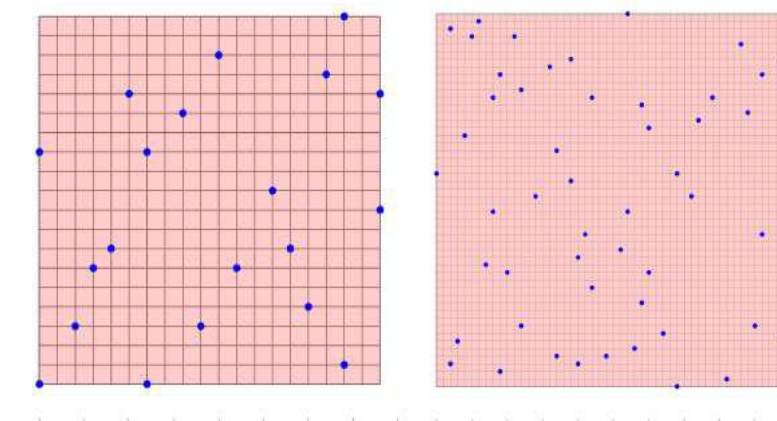
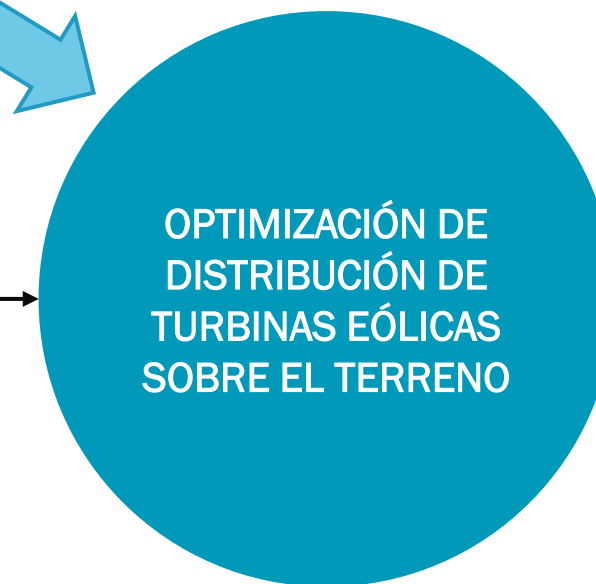
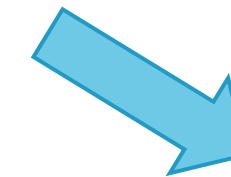
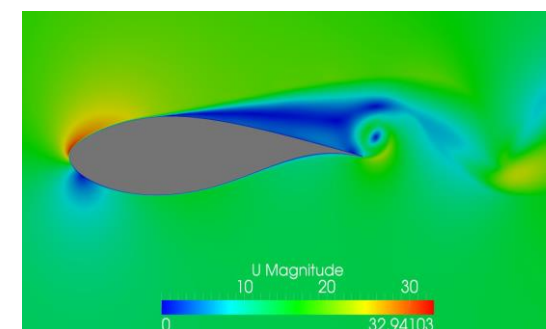
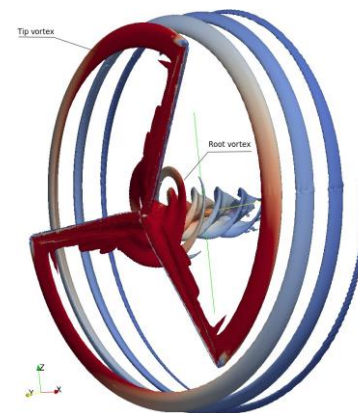
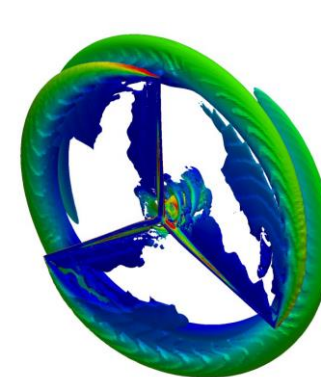
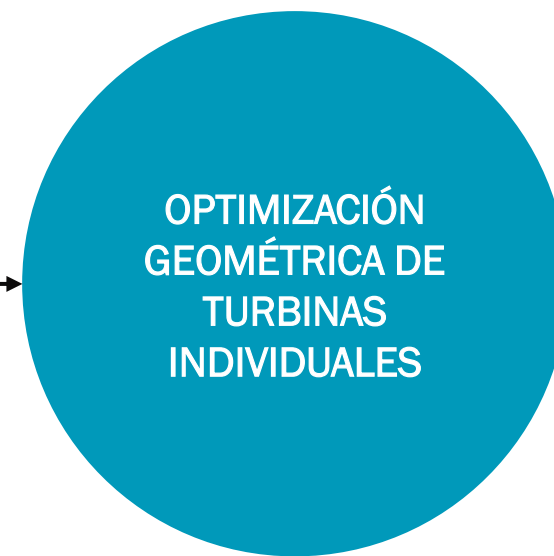
Parámetros	CFD	Modelos de estela
Precisión	Alta	Media
Tiempo de ejecución	Muy elevado	Bajo (<1 seg.)
Capacidad de automatización	Baja	Alta
Necesidad de preprocesamiento de datos	Diseño CAD, mallado, cálculos de y+...	Coordenadas de turbinas sobre un plano.
Equipamiento informático	Componentes de alta calidad	Estándar
Simplicidad jerárquica de programas	Necesidad de sincronizar varias herramientas	Se puede implementar en una única herramienta

「**APARTADO 02** **ESTADO DEL ARTE**」

Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la
distribución de aerogeneradores

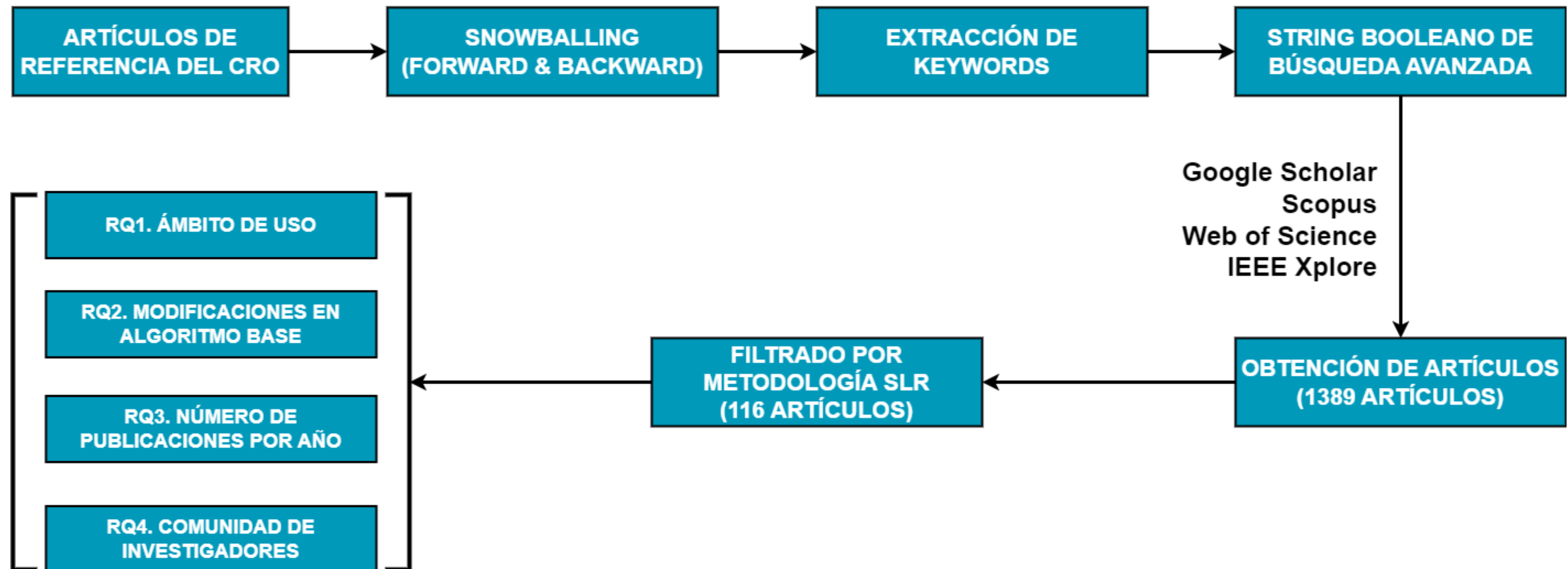
Apartado 02

Estado del arte



Apartado 02

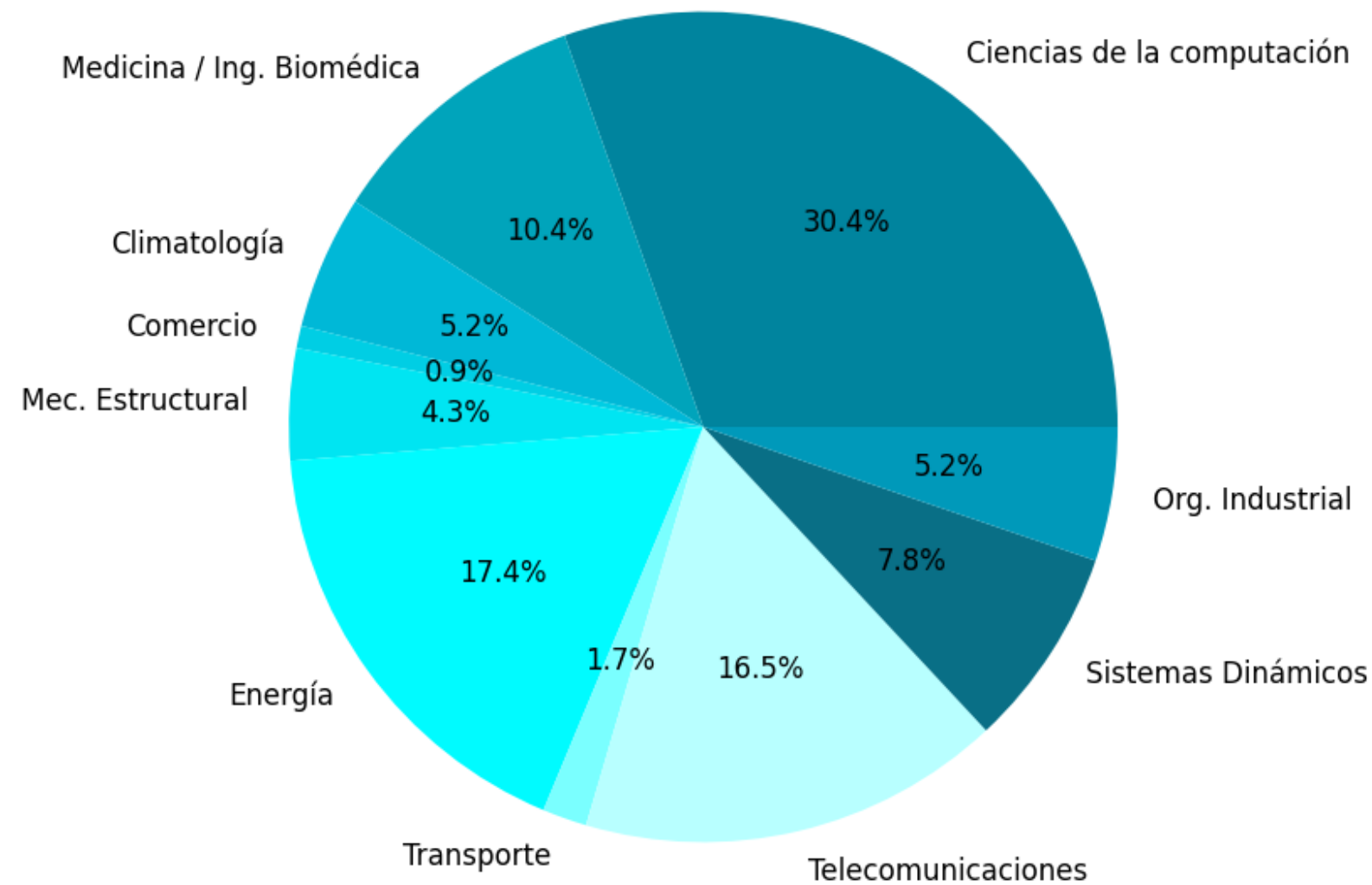
Estado del arte



Apartado 02

Estado del arte

RQ1: ÁMBITO DE USO



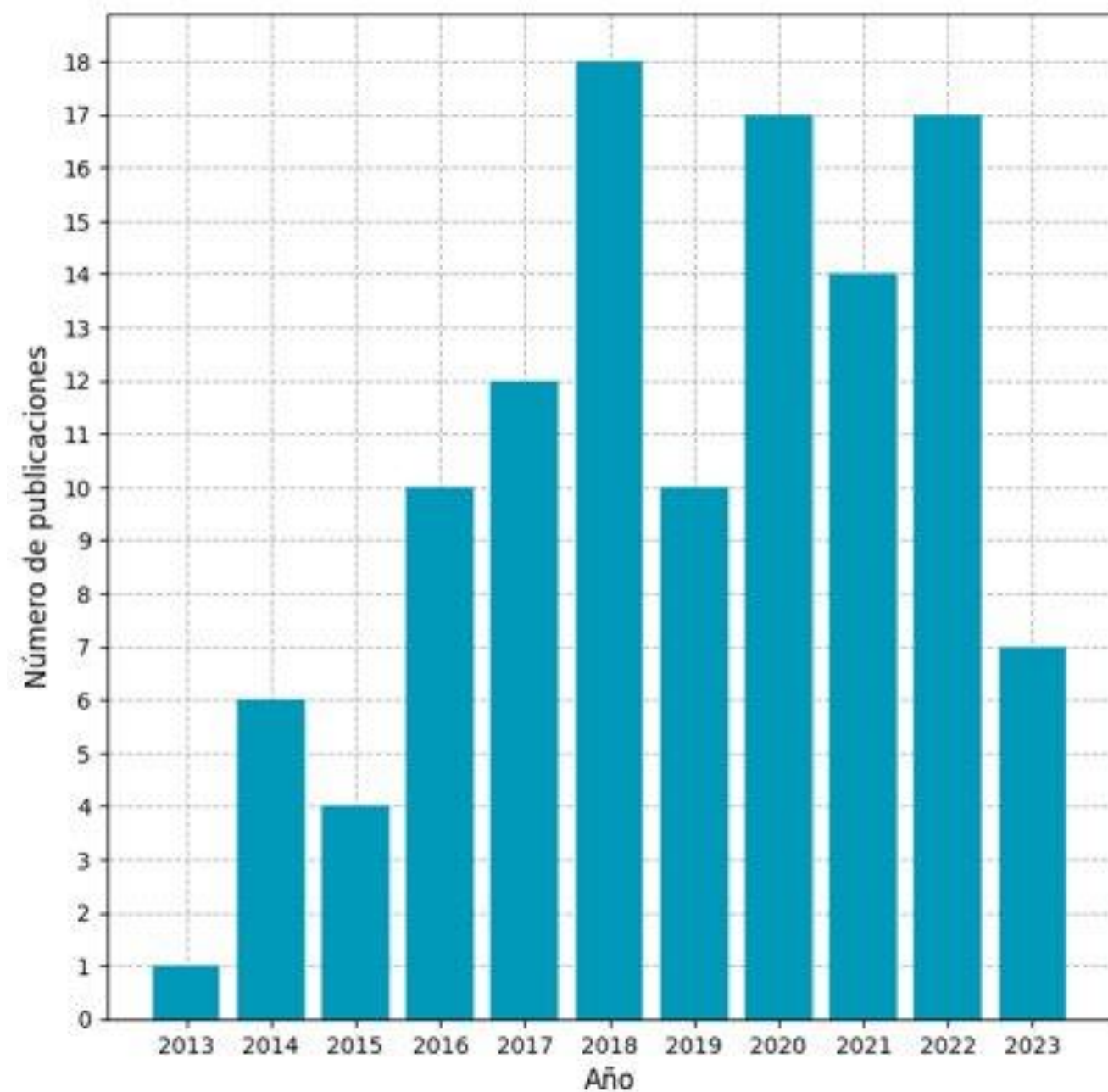
RQ2: MODIFICACIONES DEL ALGORITMO



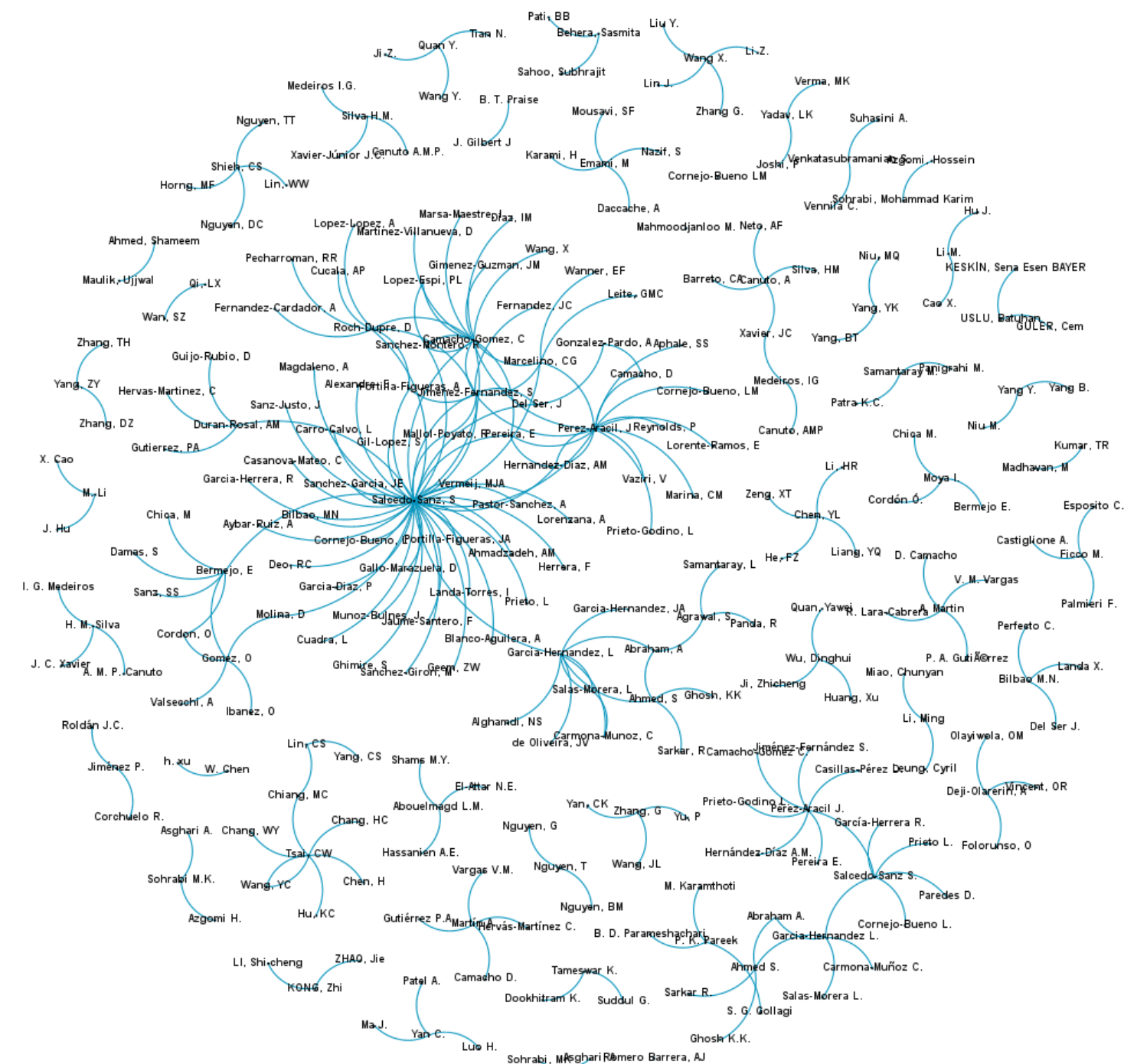
Apartado 02

Estado del arte

RQ3: PUBLICACIONES POR AÑO



RQ4: COMUNIDAD INVESTIGADORA



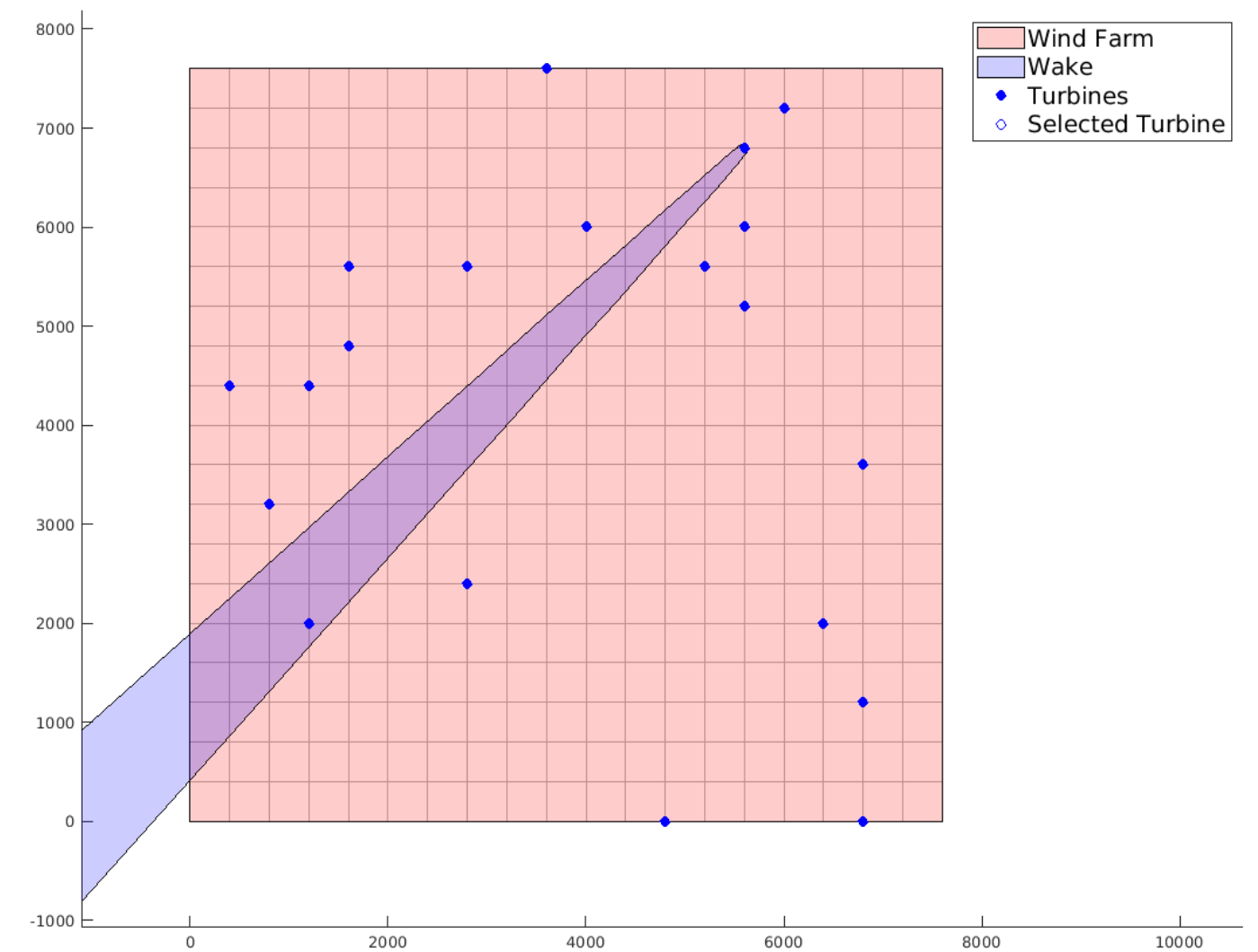
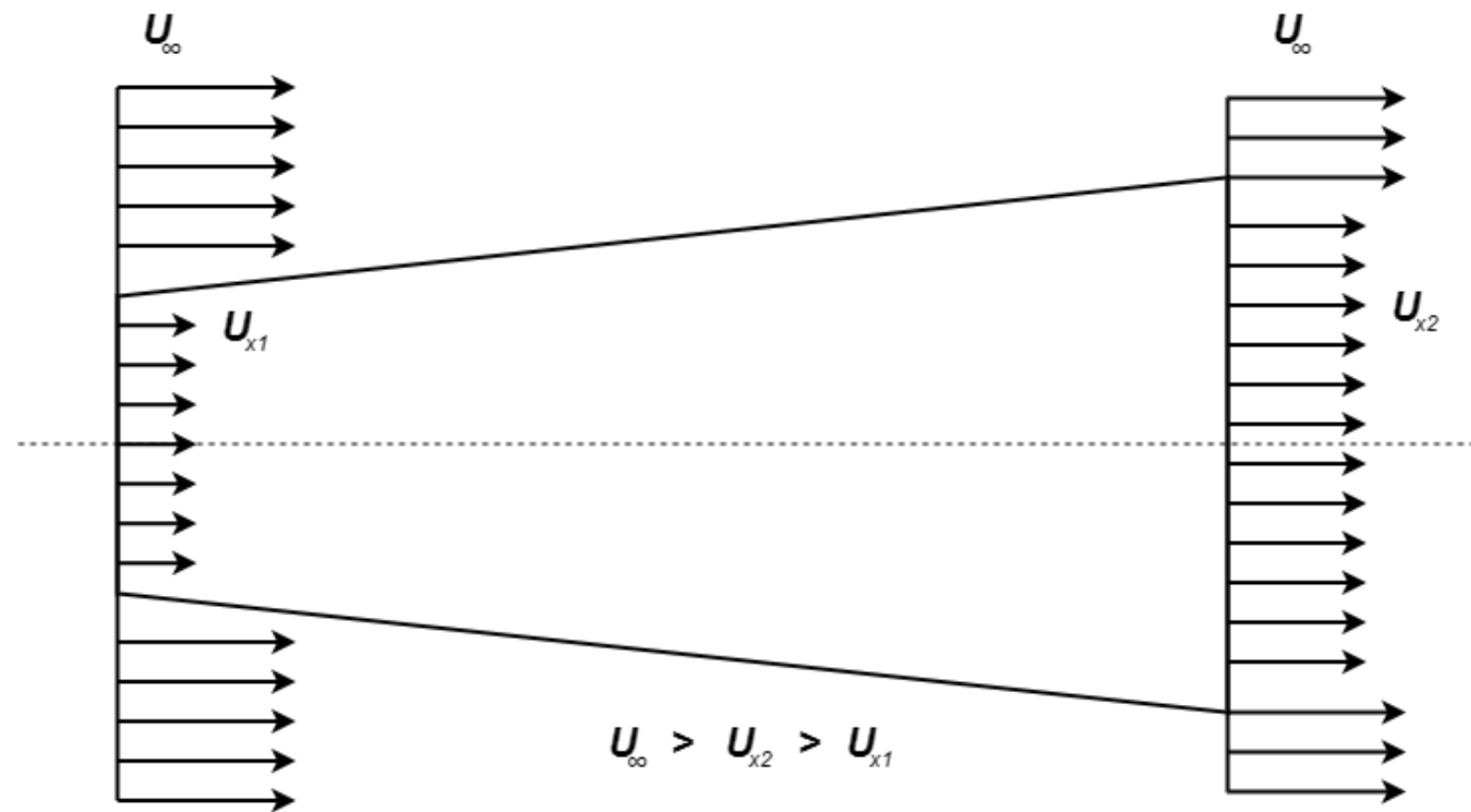
APARTADO 03

MARCO TEÓRICO

Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la distribución de aerogeneradores

Apartado 03

Marco teórico



Apartado 03

Marco teórico

Modelos de estela

MODELO DE JENSEN

$$U_x(x) = U_\infty \cdot \left(1 - \frac{1 - \sqrt{1 - c_T}}{\sqrt{\Sigma \left(1 + \frac{2 k \cdot x}{D_r} \right)^4}} \right)$$

MODELO DE AINSLIE

$$U_x(r) = U_\infty - U_{def} = U_\infty \cdot \left(1 - \hat{U}_M \cdot e^{-3.56 \left(\frac{r}{b \cdot D_r} \right)^2} \right)$$

MODELO DE LARSEN

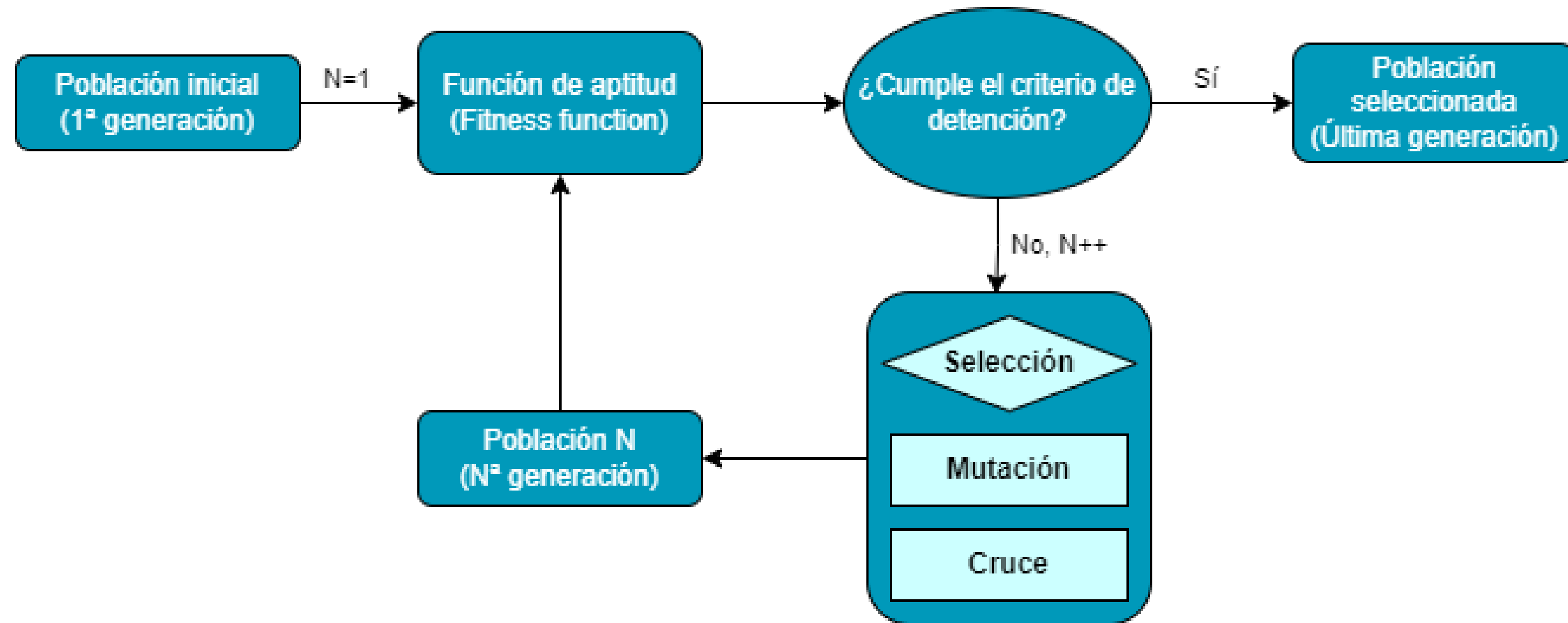
$$U_x(x,r) = U_\infty \cdot \left(1 - \frac{(c_T \cdot A_r \cdot x^{-2})^{\frac{1}{3}}}{9} \cdot \left(r^{\frac{3}{2}} \cdot (3 c_1^2 \cdot c_T \cdot A_r \cdot x)^{-\frac{1}{2}} - \left(\frac{35}{2\pi} \right)^{\frac{3}{10}} \cdot (3 c_1^2)^{-\frac{1}{5}} \right)^2 \right)$$

Modelo	Tiempo de ejecución en 20 iteraciones (s)	Tiempo de ejecución promedio por iteración (s)
Jensen	25.2272	1.2614
Larsen	32.2178	1.6109
Ainslie	28.3428	1.4171

Apartado 03

Marco teórico

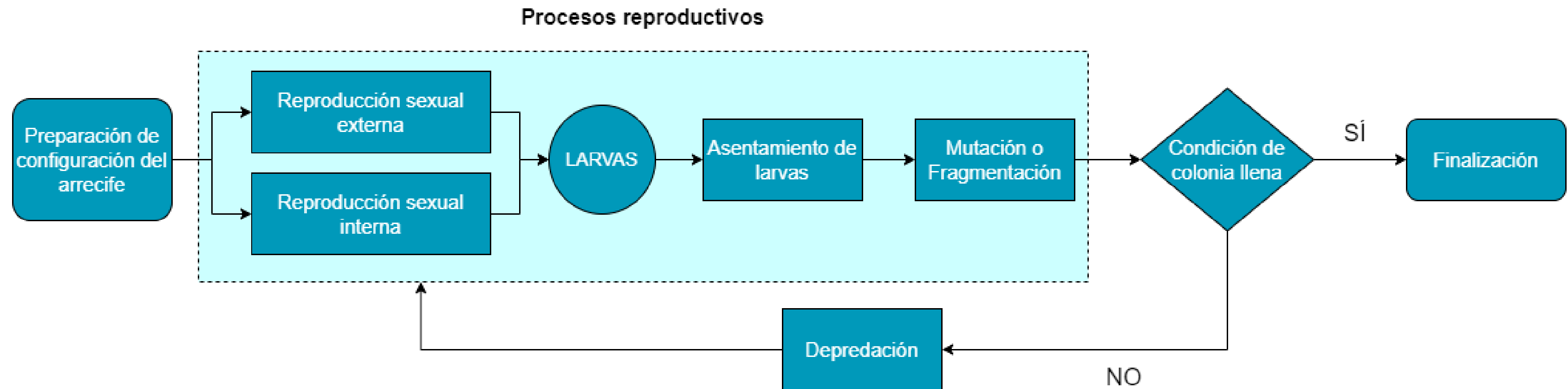
Algoritmo Genético Básico (BGA)



Apartado 03

Marco teórico

Coral Reef Optimization (CRO)



Apartado 03

Marco teórico

Coral Reef Optimization with Substrate Layers (CRO-SL)



Sustratos iniciales:

- BLX α (20%).
- MPx (20%).
- 2Px (20%).
- GM (40%).

Sustratos añadidos:

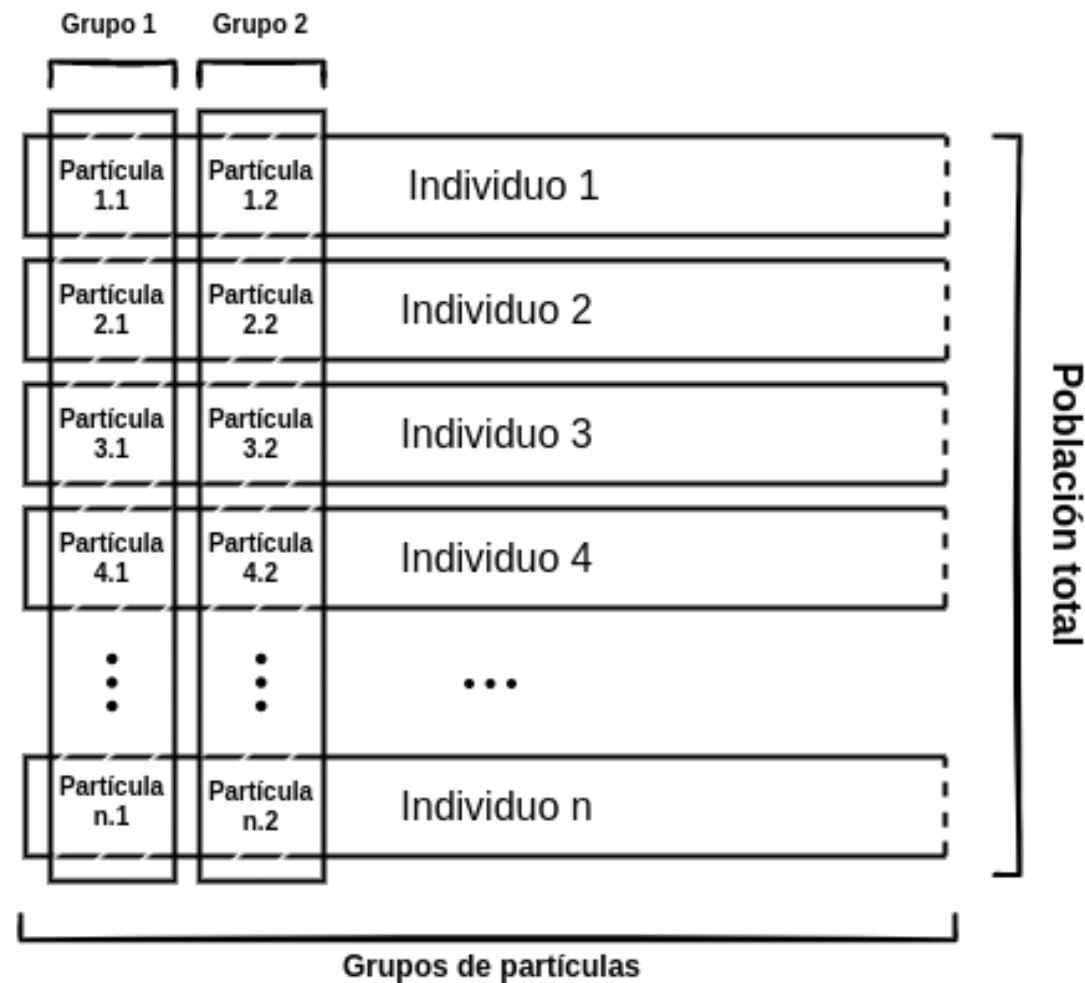
- 1Px.
- PSO.
- WOA.

Apartado 03

Marco teórico

Particle Swarm Optimization (PSO)

División en grupos de partículas que conforman cada individuo



Ecuación de movimiento

$$v_{i+1} = w \cdot v_i + c_1 \cdot r_1 \cdot (x_p^{Best} - x_i) + c_2 \cdot r_2 \cdot (x_g^{Best} - x_i)$$

$$x_{i+1} = x_i + v_{i+1}$$

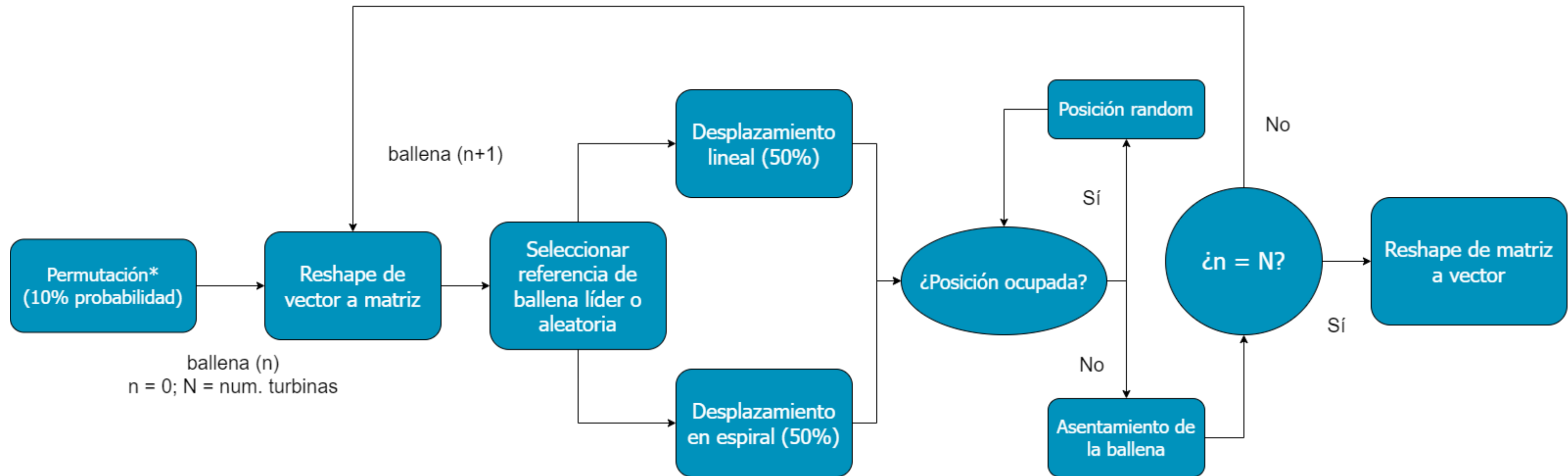
2 puntos de referencia que motivan el movimiento de las partículas:

- Mejor posición histórica personal (x_p^{Best}).
- Mejor posición histórica de toda la población (x_g^{Best}).

Apartado 03

Marco teórico

Whale Optimization Algorithm (WOA)



APARTADO 04

REQUISITOS Y DATOS

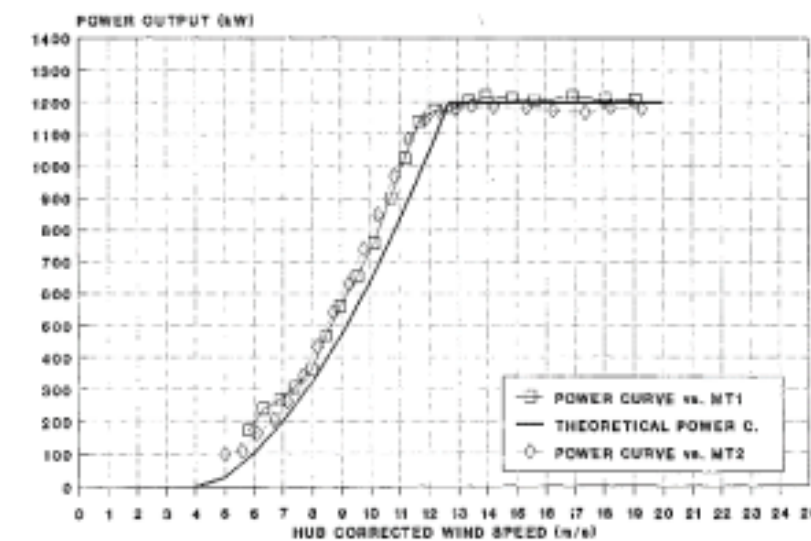
Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la distribución de aerogeneradores

Apartado 04

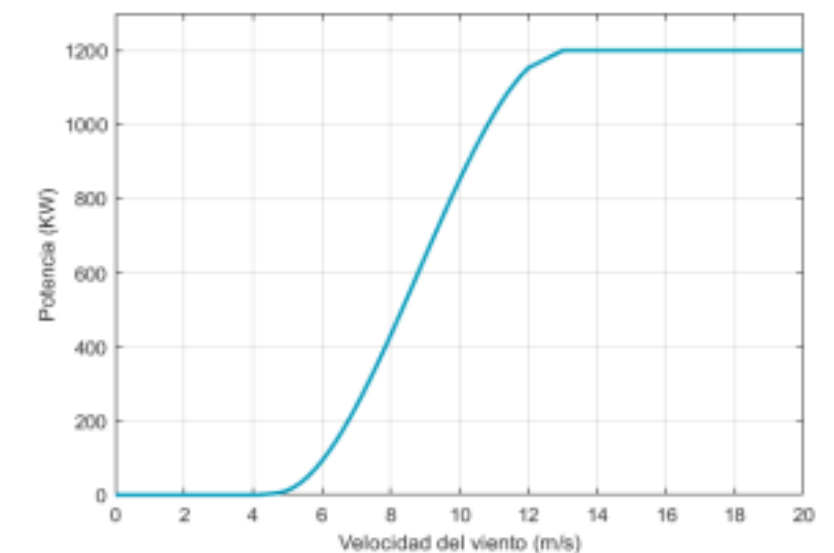
Requisitos y datos

Datos geométricos y ambientales

z (m)	D_r (m)	c_T	$A_{terreno}$ (km ²)	d_{sec} (m)	z_0 (m)	I_0
60	80	0.88	144	400	0.3	0.035



(a) Curva de potencia real de AWEC-60.



(b) Curva de potencia aproximada de AWEC-60.

APARTADO 05

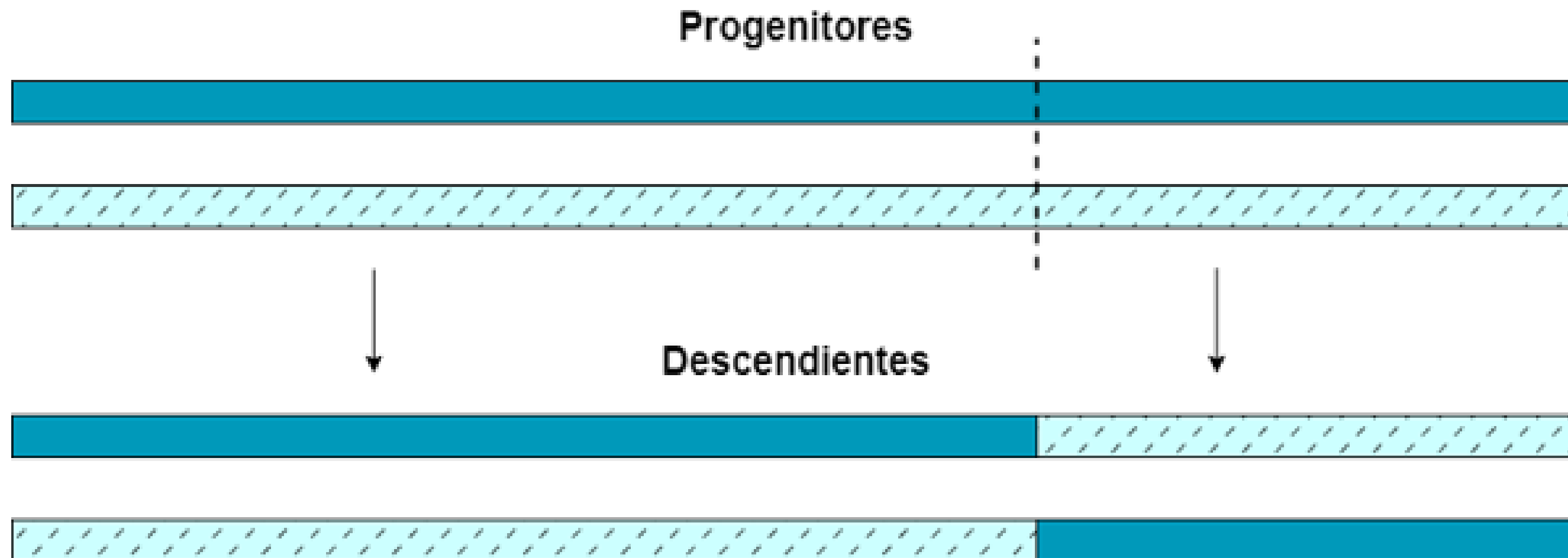
HERRAMIENTA DESARROLLADA

Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la
distribución de aerogeneradores

Apartado 05

Herramienta desarrollada

Operador 1Px mutativo como sustrato



Apartado 05

Herramienta desarrollada

Adaptación de PSO como sustrato: ajuste de hiperparámetros

COEFICIENTES	CONJUNTOS DE VALORES
Factor de inercia (ω)	[0.8, 1.0, 1.2]
Aceleración personal (c_1)	[0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5]
Aceleración social (c_2)	[0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5]

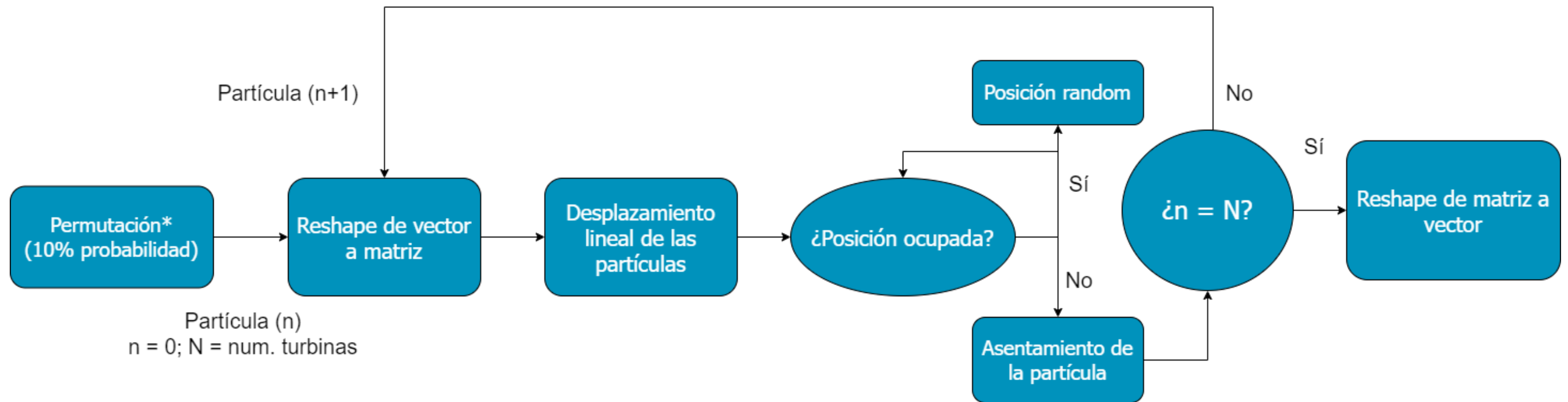
Coeficientes seleccionados:

$$[c_1, c_2, \omega] = [1.3, 1.0, 1.0]$$

Apartado 05

Herramienta desarrollada

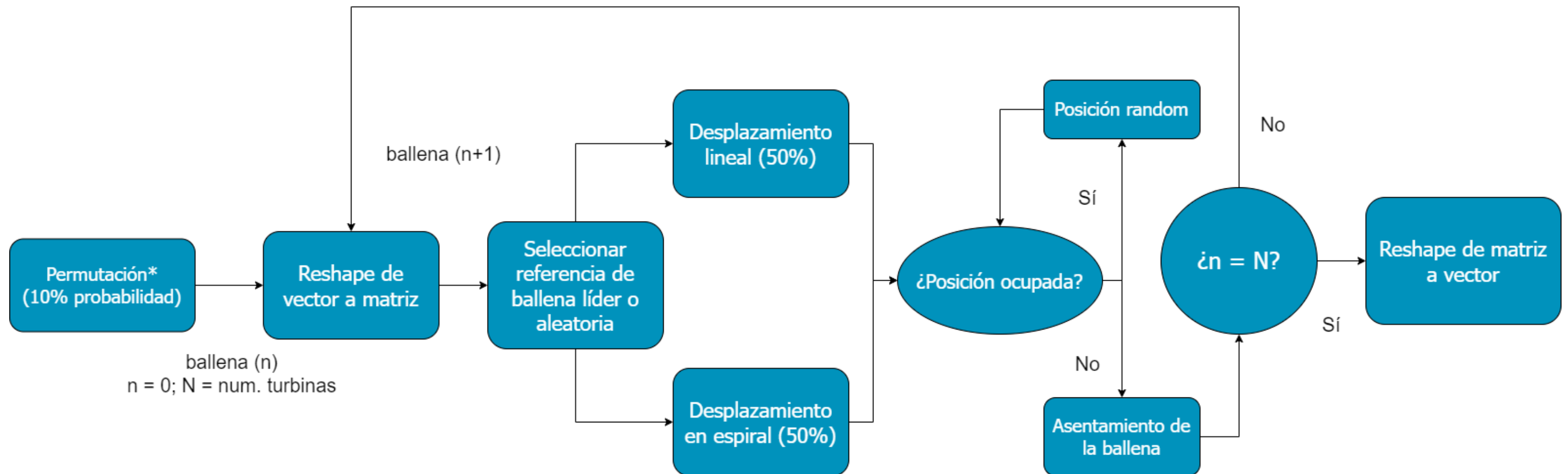
Adaptación de PSO como sustrato: funcionamiento



Apartado 05

Herramienta desarrollada

Adaptación de WOA como sustrato



APARTADO 06

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la distribución de aerogeneradores

Apartado 06

Evaluación de resultados

Valores de energía generada y rendimiento de las soluciones

Algoritmo	Modelo	Energía producida (kWh)	Rendimiento (%)
BGA	Jensen	$7.7818 \cdot 10^7$	99.34
	Larsen	$7.5273 \cdot 10^7$	95.93
	Ainslie	$7.7896 \cdot 10^7$	97.35
CRO-SL (4 sustratos)	Jensen	$7.7722 \cdot 10^7$	99.08
	Larsen	$7.4619 \cdot 10^7$	94.97
	Ainslie	$7.7882 \cdot 10^7$	97.13
CRO-SL (7 sustratos)	Jensen	$7.7856 \cdot 10^7$	99.44
	Larsen	$7.6144 \cdot 10^7$	97.20
	Ainslie	$7.8004 \cdot 10^7$	99.05

Apartado 06

Evaluación de resultados

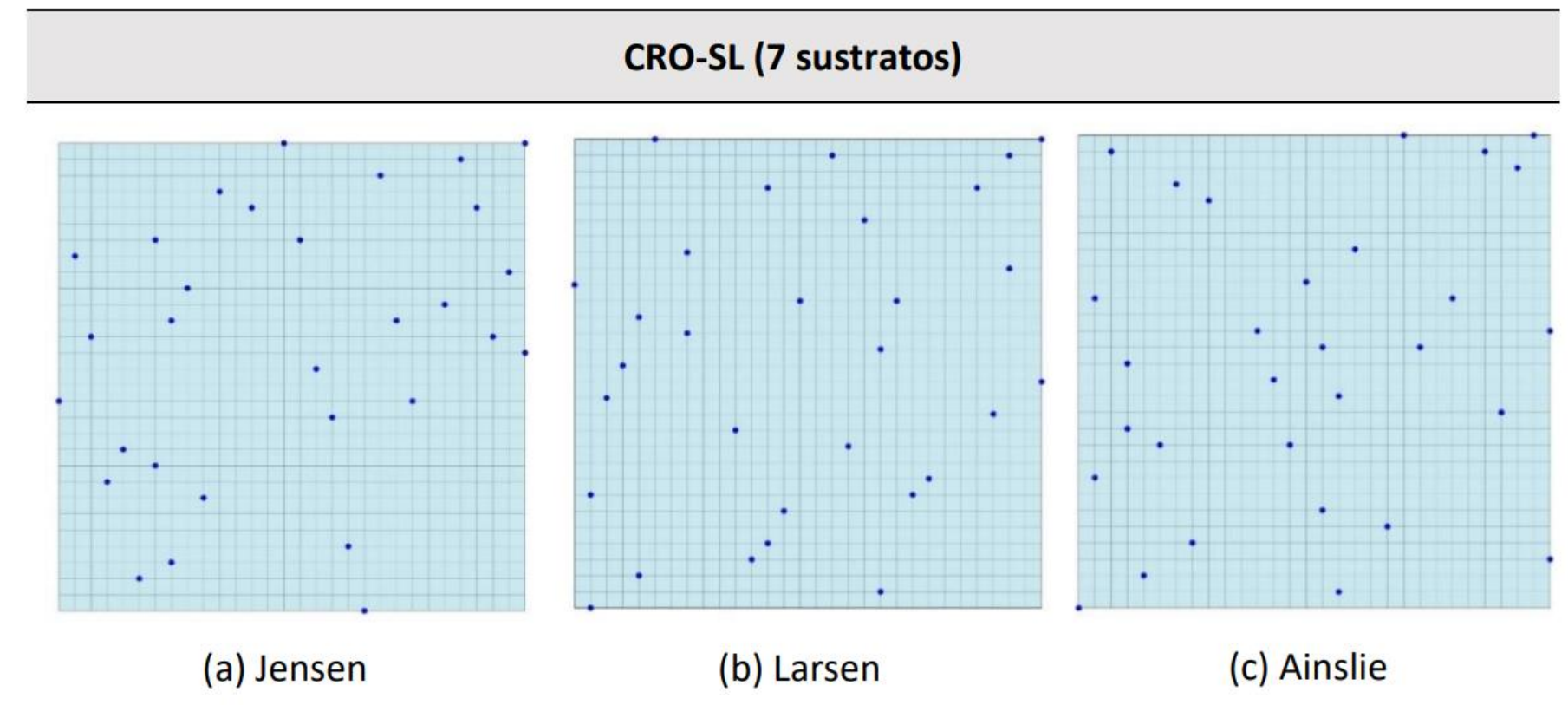
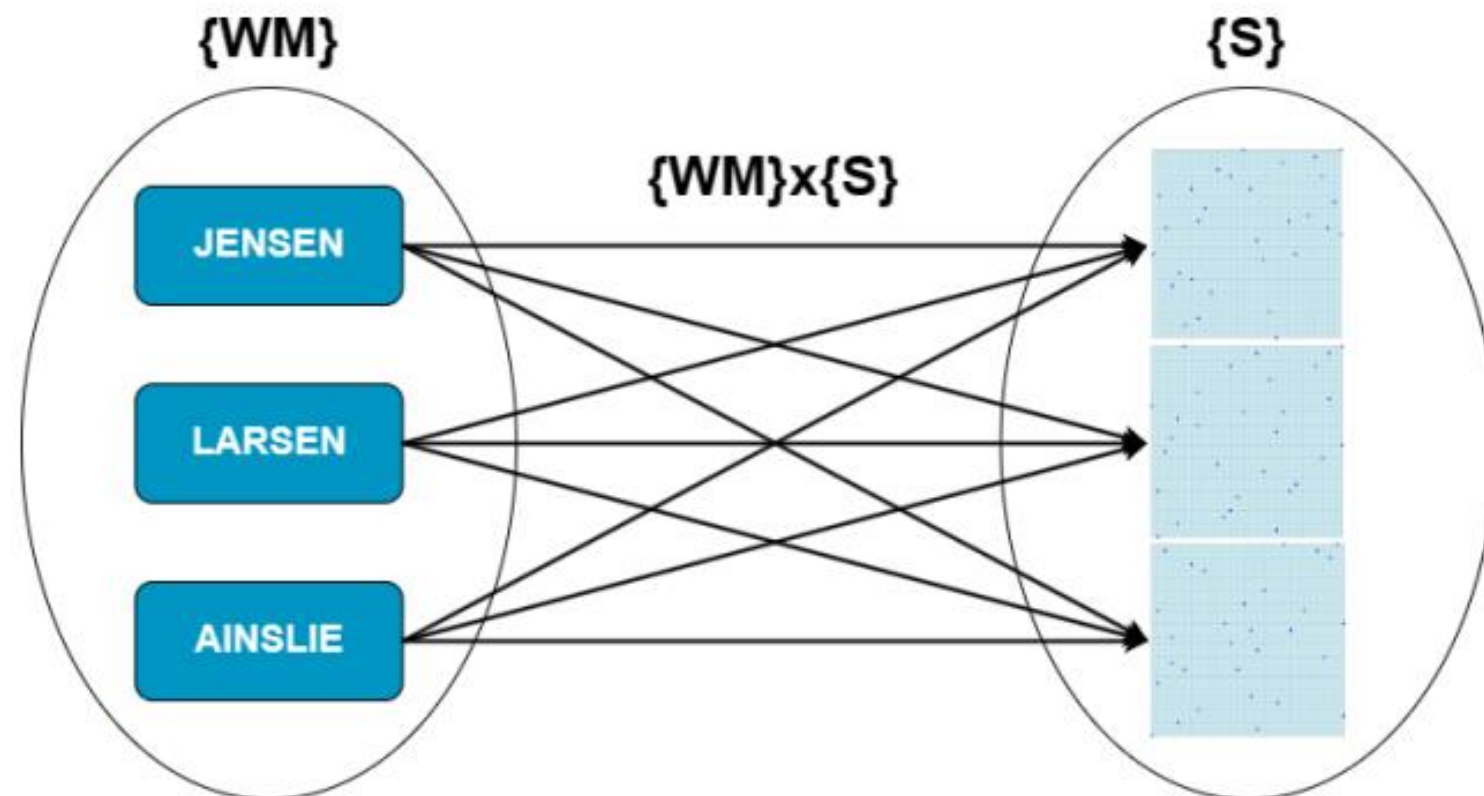
Participación de sustratos en la obtención de la mejor larva por generación

Algoritmo	Modelo	BLX α	MPx	2Px	GM	1Px	PSO	WOA
CRO-SL (4 sustratos)	Jensen	385	265	305	55	-	-	-
	Larsen	354	290	316	40	-	-	-
	Ainslie	376	282	304	38	-	-	-
CRO-SL (7 sustratos)	Jensen	164	168	257	1	237	173	0
	Larsen	147	199	241	0	251	162	0
	Ainslie	188	219	223	1	195	172	2

Apartado 06

Evaluación de resultados

Producto cartesiano de las soluciones con los modelos de estela



Apartado 06

Evaluación de resultados

Rendimiento del producto cartesiano de soluciones con modelos de estela

MODELO	SOLUCIÓN			
		JENSEN	LARSEN	AINSLIE
	JENSEN	99.44%	96.85%	92.26%
	LARSEN	91.45%	97.20%	91.41%
	AINSLIE	96.27%	86.99%	99.05%
	RENDIMIENTO	95.88%	93.68%	94.24%

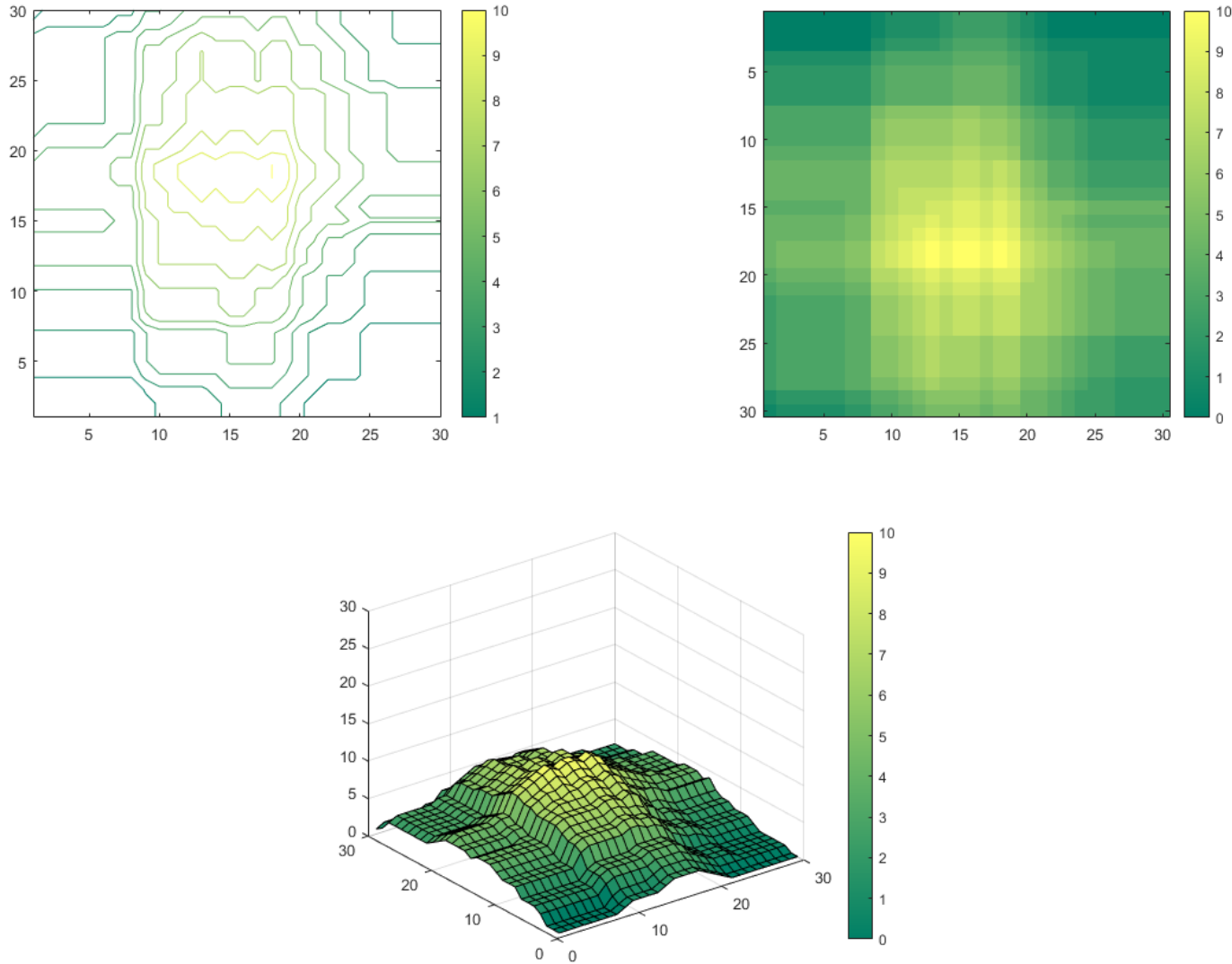
Apartado 06

Evaluación de resultados

Influencia de matriz de desniveles

Algoritmo	Solución	Energía producida con relieve (kWh)	Energía producida sin relieve (kWh)
BGA	Jensen	$7.7737 \cdot 10^7$	$7.7736 \cdot 10^7$
	Larsen	$7.7499 \cdot 10^7$	$7.7736 \cdot 10^7$
	Ainslie	$7.7935 \cdot 10^7$	$7.7896 \cdot 10^7$
CRO-SL (4 sustratos)	Jensen	$7.7658 \cdot 10^7$	$7.7656 \cdot 10^7$
	Larsen	$7.7184 \cdot 10^7$	$7.7182 \cdot 10^7$
	Ainslie	$7.7925 \cdot 10^7$	$7.7882 \cdot 10^7$
CRO-SL (7 sustratos)	Jensen	$7.7829 \cdot 10^7$	$7.7828 \cdot 10^7$
	Larsen	$7.7526 \cdot 10^7$	$7.7524 \cdot 10^7$
	Ainslie	$7.8005 \cdot 10^7$	$7.8004 \cdot 10^7$

Soluciones analizadas con modelo de estela de Ainslie



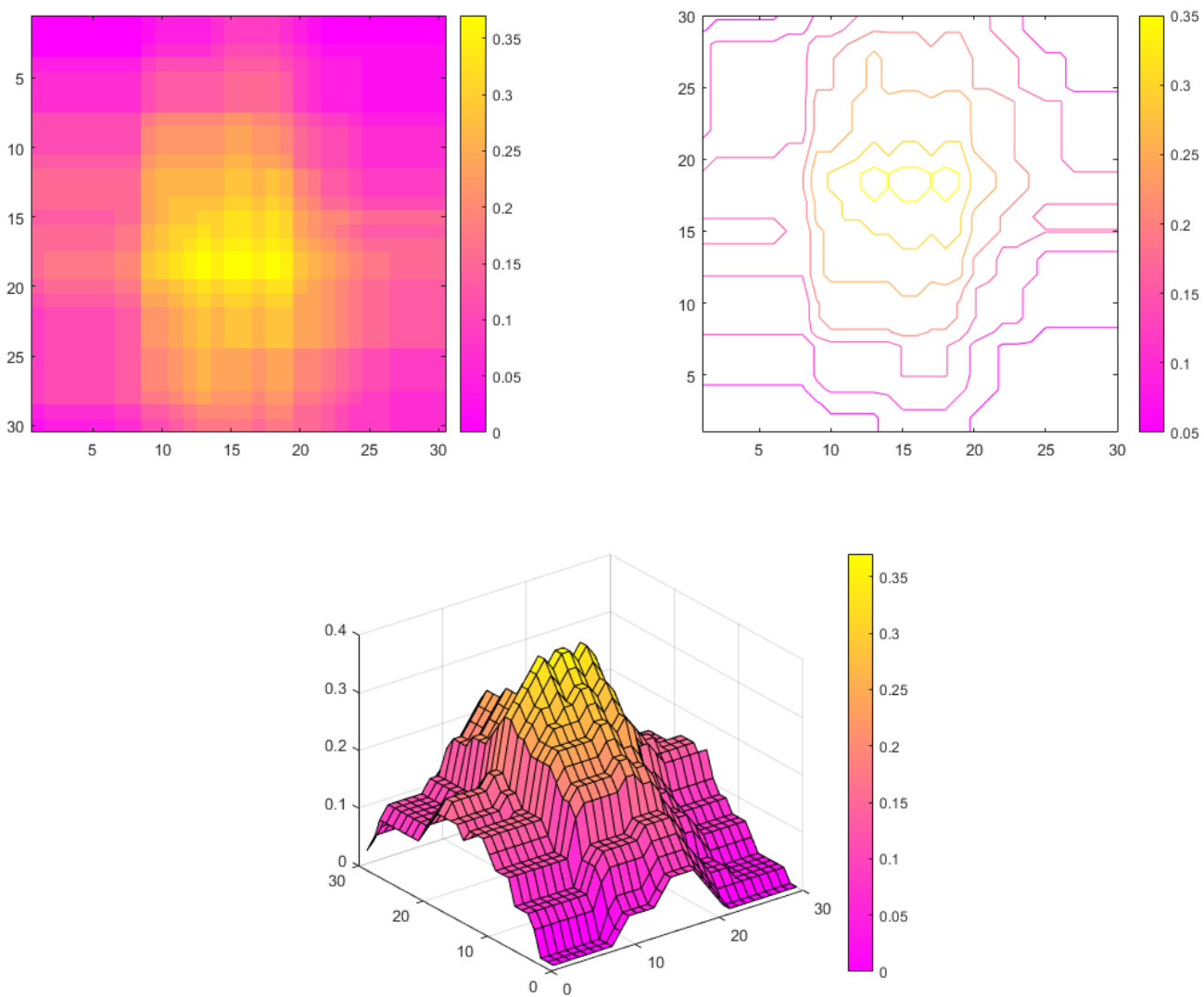
Apartado 06

Evaluación de resultados

Influencia de matriz de longitud de rugosidad

Algoritmo	Solución	Energía producida con rugosidad variable (kWh)	Energía producida con rugosidad constante (kWh)
BGA	Jensen	$7.5866 \cdot 10^7$	$7.7818 \cdot 10^7$
	Larsen	$7.7256 \cdot 10^7$	$7.7444 \cdot 10^7$
	Ainslie	$7.5477 \cdot 10^7$	$7.7678 \cdot 10^7$
CRO-SL (4 sustratos)	Jensen	$7.7023 \cdot 10^7$	$7.7722 \cdot 10^7$
	Larsen	$7.6644 \cdot 10^7$	$7.7244 \cdot 10^7$
	Ainslie	$7.7422 \cdot 10^7$	$7.7547 \cdot 10^7$
CRO-SL (7 sustratos)	Jensen	$7.7547 \cdot 10^7$	$7.7856 \cdot 10^7$
	Larsen	$7.6153 \cdot 10^7$	$7.7722 \cdot 10^7$
	Ainslie	$7.7499 \cdot 10^7$	$7.7606 \cdot 10^7$

Soluciones analizadas con modelo de estela de Jensen



APARTADO 07

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Diseño e implementación de sustratos en algoritmo CRO-SL para la distribución de aerogeneradores

Apartado 07

Conclusiones y líneas futuras

1

El uso de los 3 nuevos sustratos aumenta la velocidad de crecimiento de la función de fitness

2

Sustratos 1Px, PSO y WOA mejoran los resultados del CRO-SL

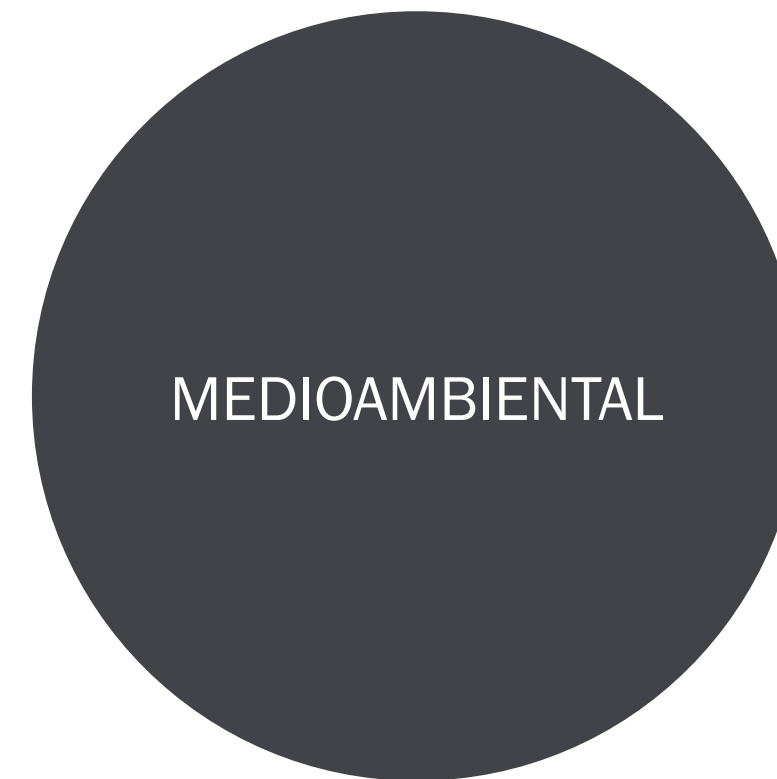
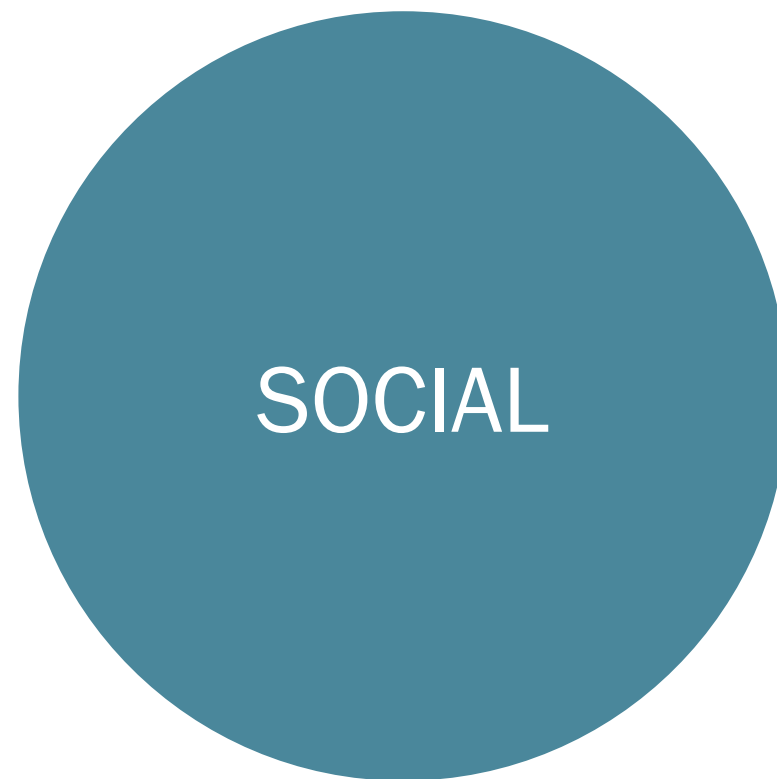
3

Limitación en el uso de las funciones de relieve y rugosidad

Apartado 07

Conclusiones y líneas futuras

IMPACTO SOCIAL, ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL

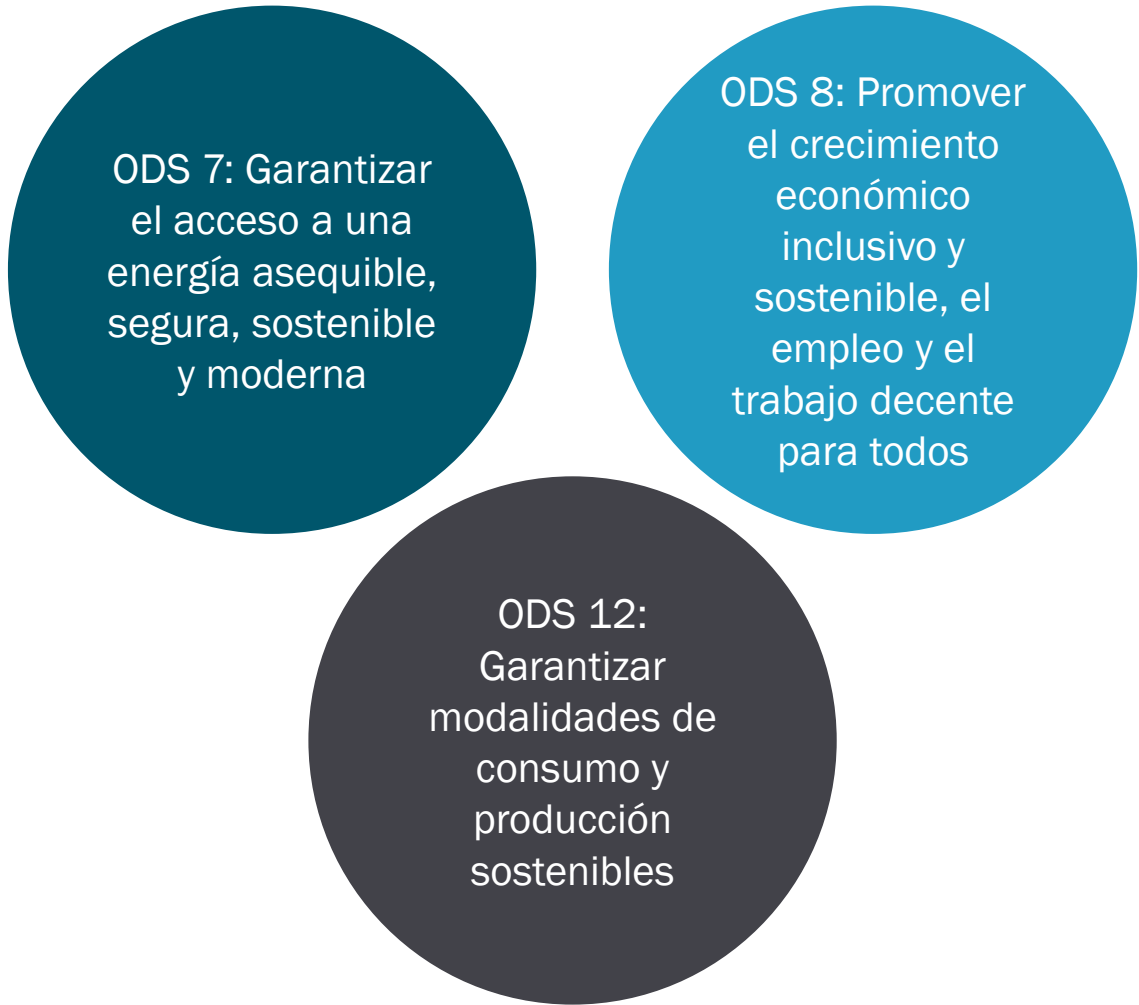


Apartado 07

Conclusiones y líneas futuras

OBJETIVO	META ESPECÍFICA	DESCRIPCIÓN
ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna.	ODS 7.1	De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
	ODS 7.2	De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
	ODS 7.3	De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
	ODS 7.b	De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos los países en desarrollo.
ODS 8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.	ODS 8.4	Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados.
ODS 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.	ODS 12.2	De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)



Apartado 07

Conclusiones y líneas futuras

- 1** **Uso de CFD en la metodología metaheurística de optimización de la distribución de turbinas eólicas.**
- 2** **Uso de turbinas eólicas en el ámbito del sector de la defensa.**
- 3** **Estudio del orden de mantenimiento de las turbinas para minimizar las pérdidas por las estelas.**
- 4** **Realización de modelos de estela orientados a predecir el déficit de velocidades en atmósfera marciana.**
- 5** **Estudio de parámetros del CRO que permitan su ejecución en tiempos menores.**

¡MUCHAS GRACIAS!