

INFORME TÉCNICO

Optimización de Scheduling

Propuesta de Solución para TecnoPrecision Global LLC

Gabriel Alonso Coro • Mauro Campver Barrios • Josue Rolando Naranjo Sieiro

Contexto del Problema

TecnoPrecision Global LLC lidera la fabricación de componentes electrónicos de alta precisión bajo demanda.

El desafío actual es crítico: cumplir con plazos de entrega estrictos utilizando un número limitado de líneas de producción idénticas y herramientas especializadas costosas.

El objetivo central es minimizar el **Makespan**: el tiempo total necesario para completar un pedido completo.



Formalización del Problema

Clasificación: Pm | res | Cmax



Máquinas Paralelas

Disponemos de m líneas de producción idénticas (P_m), permitiendo flexibilidad total en la asignación de cualquier componente.



Restricciones

Herramientas especializadas limitadas (res). La escasez de recursos crea cuellos de botella que detienen la producción simultánea.



Objetivo

Minimizar el C_{max} (Makespan). Se busca el tiempo de finalización más temprano posible para el último trabajo del lote.

Modelo Matemático

Restricciones Clave

- **Procesamiento:** Cada trabajo se asigna a exactamente una máquina.
- **No Solapamiento:** Las tareas en una misma línea no pueden cruzarse en el tiempo.
- **Recursos Acumulativos:**
La suma de recursos usados en cualquier instante t no puede exceder la capacidad total Q_k .

Función Objetivo

Minimizar el tiempo de término del último trabajo:

$$\min C_{\max}$$

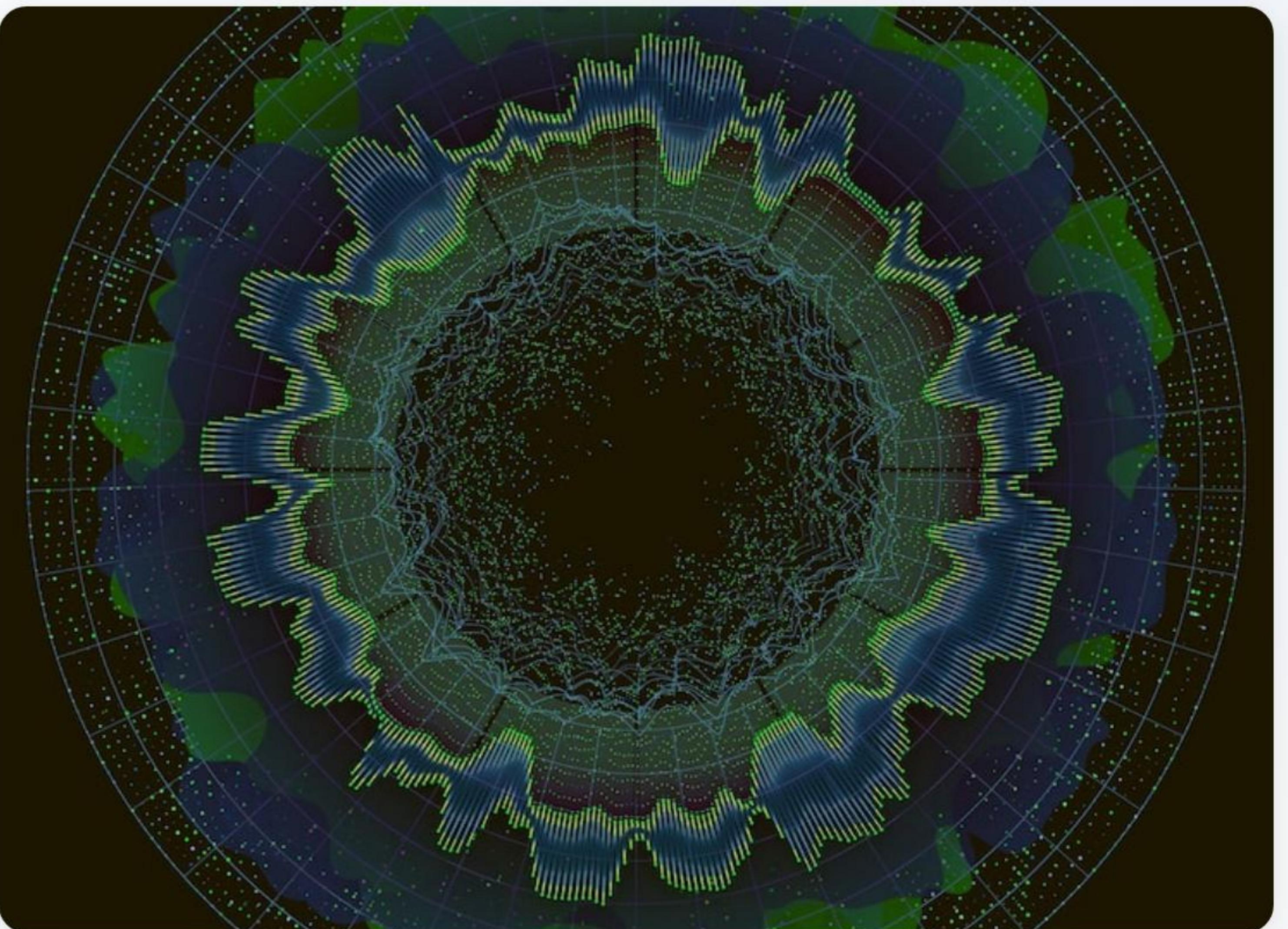
Esto garantiza que no existan retrasos por subutilización de máquinas mientras los recursos estén disponibles.

Complejidad Computacional

Clasificación: NP-Hard

El problema se ha demostrado como **NP-Completo** en su versión de decisión mediante una reducción polinomial desde el problema de **PARTITION**.

- **Implicación:** No existe un algoritmo exacto que pueda resolver instancias grandes en tiempo polinomial.
- **Consecuencia:** A medida que aumenta el número de trabajos, el tiempo para encontrar la solución óptima crece exponencialmente.



Estrategias Algorítmicas



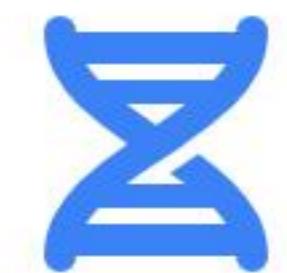
Brute Force

Búsqueda exhaustiva del óptimo global. Explora todo el espacio de soluciones. Inviable para $n > 11\$$.



Greedy Solver

Heurística constructiva "Earliest Start". Extremadamente rápida (< 1ms). Error relativo medio de 3.5%.



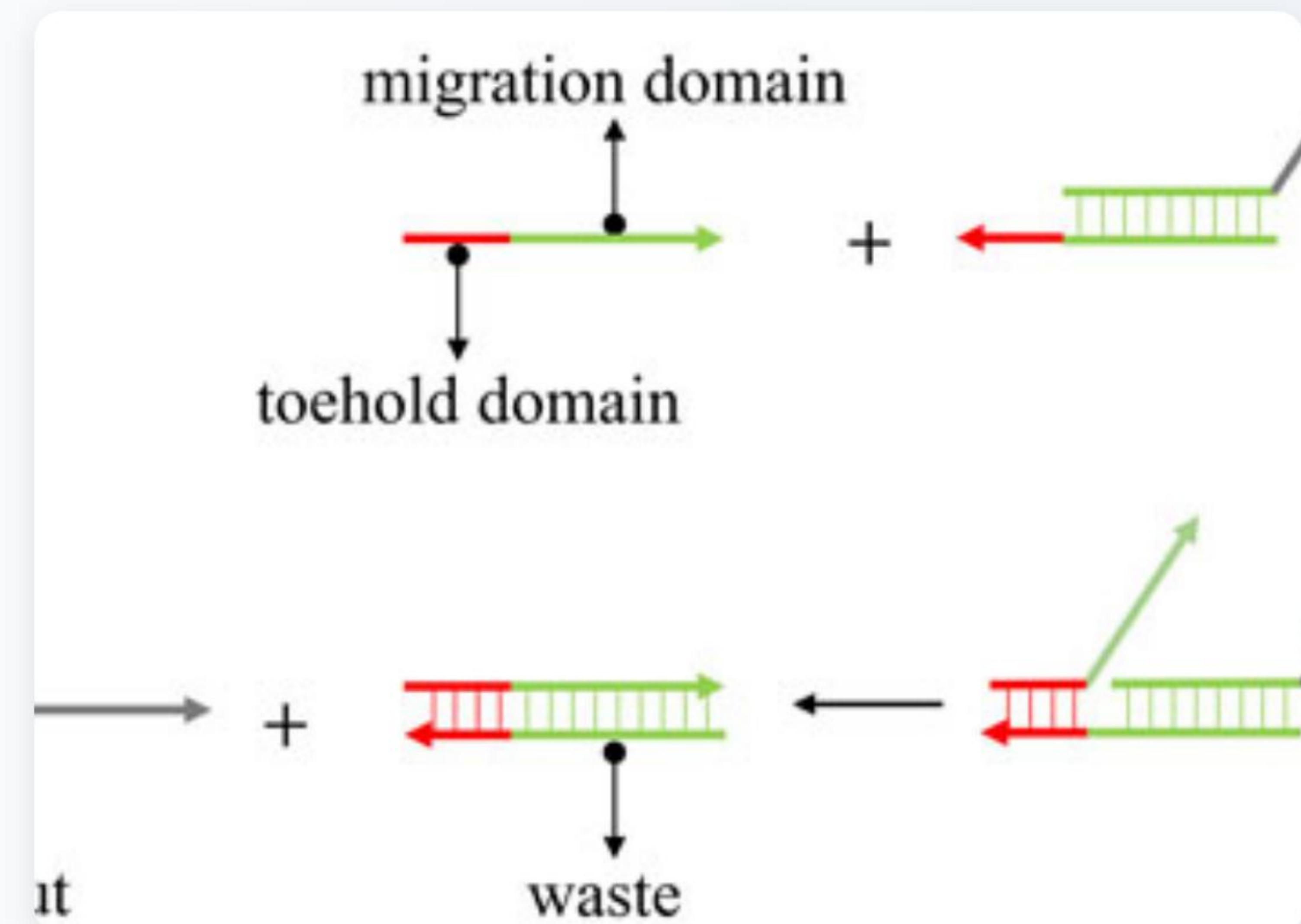
Genetic Solver

Metaheurística poblacional. Equilibrio ideal entre tiempo y calidad. Error de 0.0% en pruebas.

Genetic Solver: El Motor Principal

Diseñado para evadir óptimos locales mediante evolución estocástica.

- Población: 100 individuos (permutaciones de trabajos).
- Operadores:
 - Selección por Torneo ($k=3$).
 - Crossover OX (Preserva orden).
 - Mutación Swap (Diversidad).
- Estrategias: Elitismo para conservar lo mejor y Reinicio para escapar del estancamiento.



Resultados: Calidad de Solución



El Algoritmo Genético igualó al óptimo en el 100% de las instancias probadas, demostrando una precisión excepcional frente a la aproximación Greedy.

Resultados: Tiempos de Ejecución

Algoritmo	Tiempo Medio	Escalabilidad	Casos de Uso
Greedy (Earliest Start)	~0.001 s	Instantánea	Tiempo Real / Emergencias
Genetic Solver	~10.5 s	Estable (Lineal)	Planificación Diaria
Brute Force	Exponencial	Pésima (> 11 jobs)	Solo Validación Pequeña

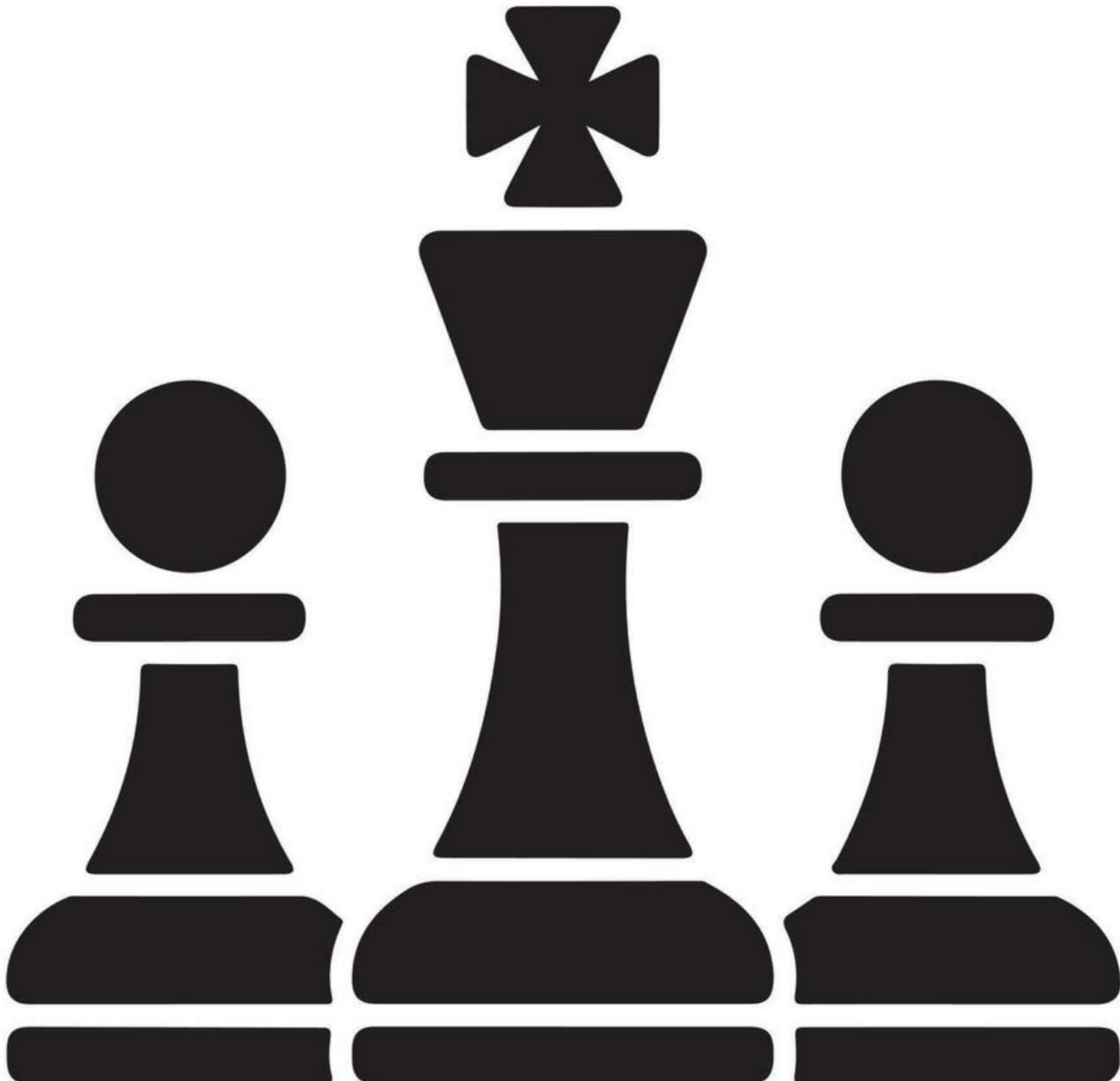
Recomendación Estratégica

Motor Principal: Genetic Solver

Se recomienda su uso para la planificación diaria de producción. Garantiza la máxima eficiencia y cumplimiento de plazos con un tiempo de cálculo razonable.

Contingencia: Greedy Solver

Implementar como mecanismo de respuesta rápida para re-planificación instantánea ante averías o cambios de última hora.



¿Preguntas?

Gracias por su atención.

Image Sources



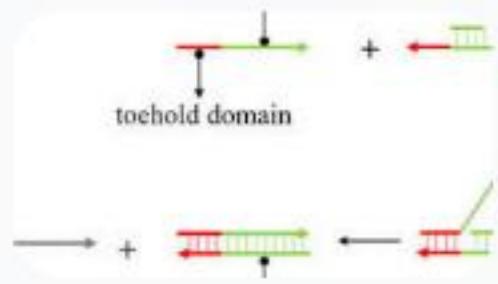
https://images.stockcake.com/public/9/c/7/9c7c776a-3b09-4e24-8ecc-008fc17f9703_large/automated-assembly-line-stockcake.jpg

Source: stockcake.com



https://img.freepik.com/free-vector/big-data-colorful-visualization-futuristic-infographic-information-aesthetic-design-visual-data-complexity-complex-data-threads-graphic-social-network-representation-abstract-data-graph_1217-2147.jpg?semt=ais_hybrid&w=740&q=80

Source: www.freepik.com



https://images-provider.frontiersin.org/api/px/w=1200&f=png/https://www.frontiersin.org/files/Articles/1120791/fgene-14-1120791-HTML/image_m/fgene-14-1120791-g001.jpg

Source: www.frontiersin.org



https://static.vecteezy.com/system/resources/previews/071/689/741/non_2x/geometric-minimal-business-strategy-chess-piece-silhouette-vector.jpg

Source: www.vecteezy.com