

Optimización Híbrida de Layouts de Teclado mediante Algoritmos Genéticos y Enfriamiento Simulado

Jordi Cantavella Ferrero

MIARFID
Universitat Politècnica de València
Valencia, [Fecha]





Introducción
Descripción del problema
Implementación
Experimentos y Resultados
Conclusiones y Trabajo Futuro

① Introducción

② Descripción del problema

③ Implementación

④ Experimentos y Resultados

⑤ Conclusiones y Trabajo Futuro



Índice

Introducción

Descripción del
problema

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

1 Introducción

2 Descripción del problema

3 Implementación

4 Experimentos y Resultados

5 Conclusiones y Trabajo Futuro

El Problema del Diseño de Teclados

El Layout QWERTY

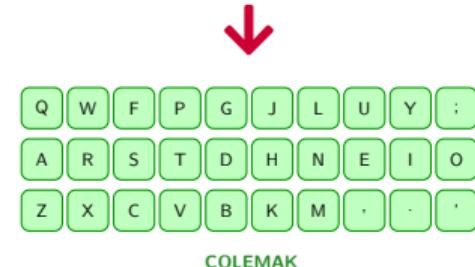
Diseñado en 1873 para máquinas de escribir mecánicas, no para eficiencia ergonómica.



QWERTY

Problemas Actuales

- Alta distancia recorrida por los dedos
- Baja alternancia entre manos
- Distribución subóptima de teclas frecuentes
- Aumento de lesiones por esfuerzo repetitivo



COLEMAK

¿Podemos encontrar un layout más eficiente?

Objetivos del Trabajo

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Objetivo Principal

Conseguir mediante el uso de algoritmos genéticos y enfriamiento simulado, una distribución óptima para un teclado.

Objetivos Específicos:





Índice

Introducción

Descripción del
problema

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

① Introducción

② Descripción del problema

③ Implementación

④ Experimentos y Resultados

⑤ Conclusiones y Trabajo Futuro

Codificación de un Individuo

Representación del Layout

Un layout se representa como una lista de **30 elementos** mapeados a posiciones físicas del teclado (3 filas × 10 columnas).

```
#Conjunto de posibles teclas
letters = [
    'a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f',
    'g', 'h', 'i', 'j', 'k', 'l',
    'm', 'n', 'o', 'p', 'q', 'r',
    's', 't', 'u', 'v', 'w', 'x',
    'y', 'z', ',', '.', ';', '"'
]

qwerty = [
    'q', 'w', 'e', 'r', 't', 'y', 'u', 'i', 'o', 'p',
    ,
    'a', 's', 'd', 'f', 'g', 'h', 'j', 'k', 'l', ',',
    ,
    'z', 'x', 'c', 'v', 'b', 'n', 'm', ',', '.', '"'
]
```

Estructura 3×10

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

Ejemplo: QWERTY





Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Función de Fitness: Visión General

Evaluación Basada en Bigramas

El fitness evalúa el costo de escribir pares de letras consecutivas según su frecuencia.

Fitness =

$$\sum_{bigramas} (distancia \times multiplicador) \times frecuencia$$

Componentes

- ① Distancia euclidiana
- ② Penalizaciones por dedos
- ③ Frecuencia del bigrama

Objetivo

MINIMIZAR
el costo total

Métrica 1: Distancia Eucliana

[Introducción](#)[Descripción del problema](#)[Implementación](#)[Experimentos y Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo Futuro](#)

Distancia Física

Distancia geométrica entre teclas en el espacio 2D.

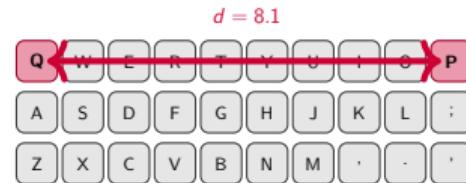
$$d = \sqrt{(\Delta \text{fila})^2 + (\Delta \text{col})^2}$$

- Layout 3×10 (posiciones 0-29)
- Menor distancia = más eficiente

Distancia CORTA



Distancia LARGA



[Introducción](#)[Descripción del problema](#)[Implementación](#)[Experimentos y Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo Futuro](#)

Métrica 2: Same-Finger Penalty

Mismo Dedo

Penalización cuando un bigrama usa el mismo dedo consecutivamente.

Asignación

- Cols 0,9: **Meñique** (str=1)
- Cols 1,8: **Anular** (str=2)
- Cols 2,7: **Medio** (str=3)
- Cols 3-6: **Índice** (str=4)

Penalización

- Dedo fuerte: **+1.0**
- Dedo débil: **+2.0**

Asignación de Dedos



Ejemplo: "ed" en QWERTY

Dedo medio



penalty **+1.0**

Métrica 2: Same-Hand Penalty

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Misma Mano

Penalización por usar dedos diferentes de la misma mano.

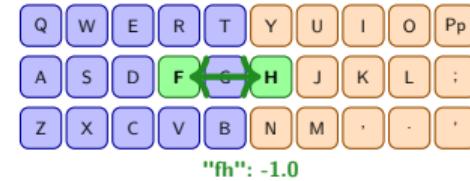
Lógica

- Mismo dedo: +1.0
- Misma mano: +1.0
- Manos alternas: -1.0

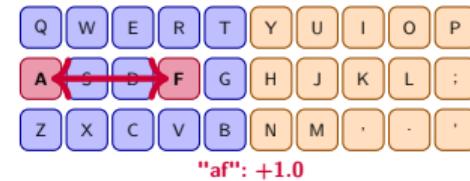
Objetivo

Favorecer alternancia de manos

BUENO: Manos Alternadas (-1.0)



MALO: Misma Mano (+1.0)



[Introducción](#)[Descripción del problema](#)[Implementación](#)[Experimentos y Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo Futuro](#)

Métrica 2: Row Jump Penalty

Salto de Fila

Penalización por movimiento vertical entre filas.

Penalizaciones

- 1 fila: +0.2
- 2 filas: +0.8
- Con dedos débiles: +0.15/+0.5

Adicional

- Vertical misma columna: +0.3
- Cols extremas: +0.2
- Cols exteriores: +0.1

Salto 1 Fila (+0.2)



"ed": +0.2

Salto 2 Filas (+0.8+0.3)



"ec": +1.1

Métrica 2: Weak Finger Penalty

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Dedos Débiles

Penalización por uso de meñique y anular.

Sistema

- Meñique (str=1): +0.15
- Anular (str=2): +0.10
- Medio (str=3): +0.0
- Índice (str=4): +0.0

Objetivo

Evitar dedos débiles para letras frecuentes

Mapa de Fuerza



Dedos Débiles en QWERTY



Cálculo Final del Fitness

[Introducción](#)[Descripción del problema](#)[Implementación](#)[Experimentos y Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo Futuro](#)

$$\text{costo} = \text{distancia} \times \max(1.0 + \sum \text{penalties}, 0.1)$$

$$\text{Fitness} = \sum_{\text{bigramas}} \text{costo} \times \text{frecuencia}$$

Penalties

- Same-finger: +1.0/+3.0
- Same-hand: +1.0
- Alternancia: -1.0
- Row jump: +0.2/+0.8
- Dedos débiles: +0.10/+0.15
- Vertical: +0.3

Ejemplo: "ed"

Distancia:	1.0
Same-finger:	+1.0
Row jump:	+0.2

Multiplicador:	2.2
Costo:	2.2
Freq("ed"):	1500

Total: **3300**

Introducción

Descripción del problema

Implementación

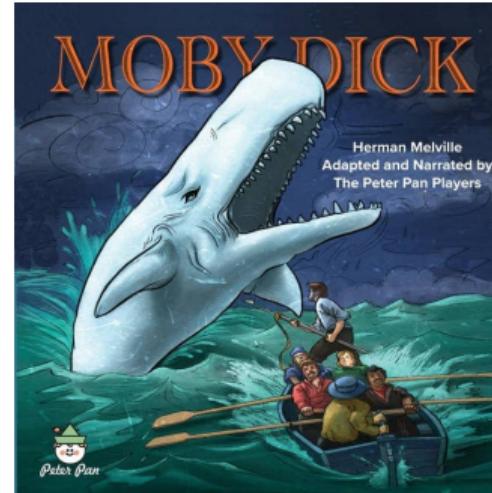
Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

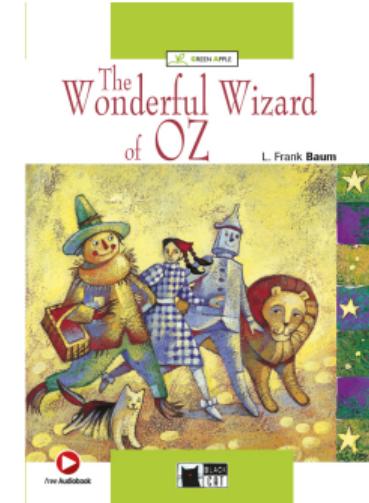
Corpus de Texto Utilizados

Datasets para Experimentación

Dos libros clásicos con características lingüísticas diferentes.



Moby Dick
Herman Melville (1851)



The Wizard of Oz
L. Frank Baum (1900)

Simulated Annealing (SA)

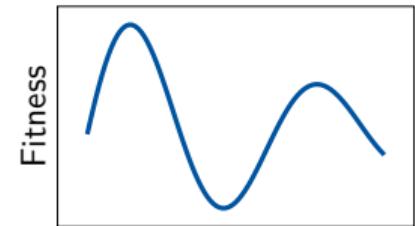
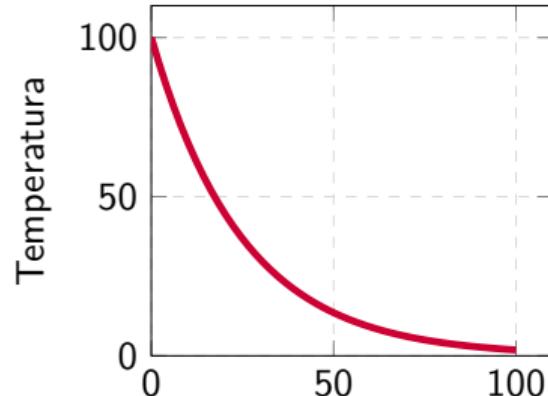
Inspiración Metalúrgica

Basado en el proceso de templado de metales.

Principio de Funcionamiento

- **Temperatura inicial alta:** Acepta soluciones peores
- **Enfriamiento gradual:** Reduce aceptación de peores
- **Vecindad:** Swap de 2 teclas aleatorias
- **Criterio de aceptación:** Probabilidad de Metropolis

$$P(\text{aceptar}) = e^{-\Delta E/T}$$



SA puede escapar de óptimos locales

Enfoque Híbrido: GA + SA

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

¿Por qué combinar ambos algoritmos?

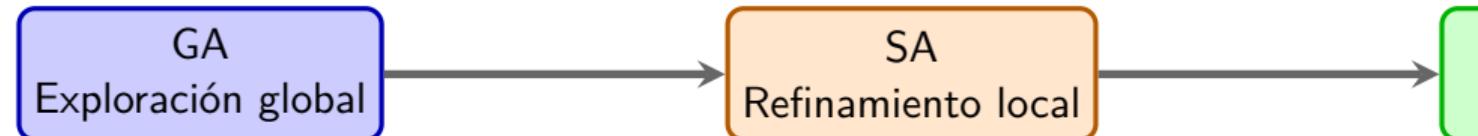
Aprovechar las fortalezas complementarias de cada algoritmo.

Algoritmo Genético

- + Exploración global
- + Población diversa
- Convergencia prematura

Simulated Annealing

- + Refinamiento local
- + Escape de óptimos locales
- Exploración limitada





Índice

Introducción

Descripción del
problema

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

① Introducción

② Descripción del problema

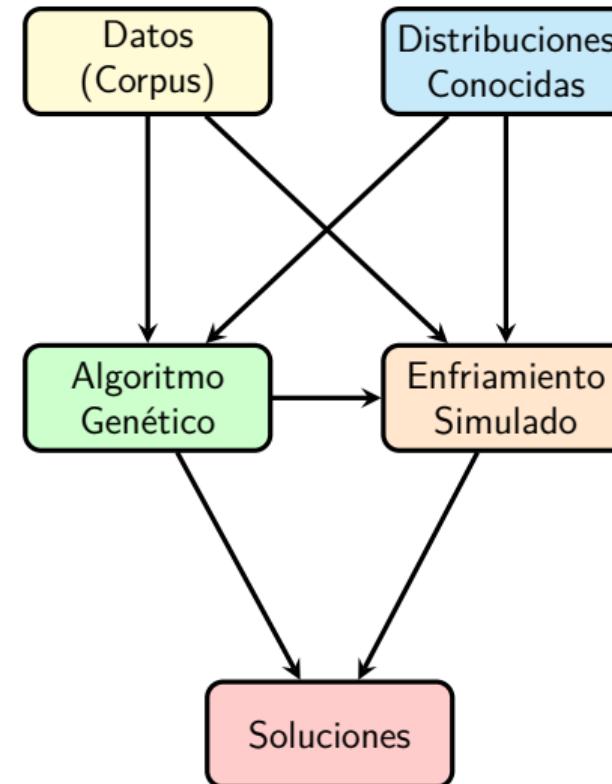
③ Implementación

④ Experimentos y Resultados

⑤ Conclusiones y Trabajo Futuro

Arquitectura de los experimentos

Introducción
Descripción del problema
Implementación
Experimentos y Resultados
Conclusiones y Trabajo Futuro



Algoritmos Genéticos (GA)

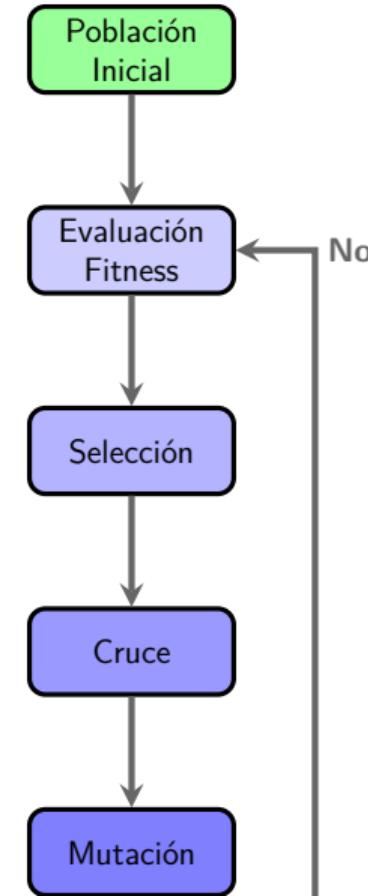
Introducción
Descripción del problema
Implementación
Experimentos y Resultados
Conclusiones y Trabajo Futuro

Inspiración Biológica

Basados en la evolución natural: selección, cruce y mutación.

Componentes Principales

- **Población:** Conjunto de layouts candidatos
- **Fitness:** Función de evaluación (métricas)
- **Selección:** Torneo
- **Cruce:** Cruce por dos puntos
- **Mutación:** Swap de teclas aleatorias



Comparativa de Experimentos genéticos

Introducción

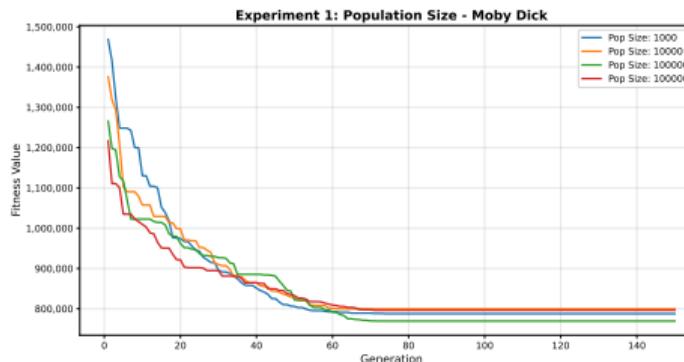
Descripción del problema

Implementación

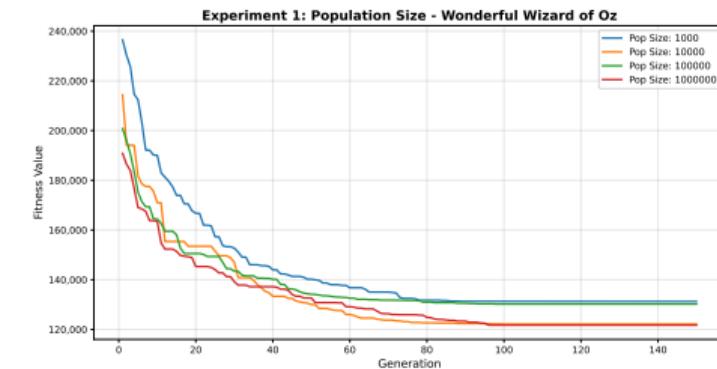
Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Tamaño de la población



Pop_size: 100000 Fitness: 769,434.60



Pop_size: 1000000 Fitness: 121,733.00

Comparativa de Experimentos

Introducción

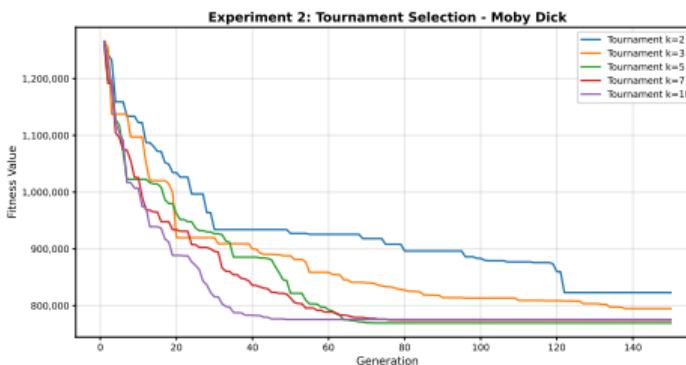
Descripción del problema

Implementación

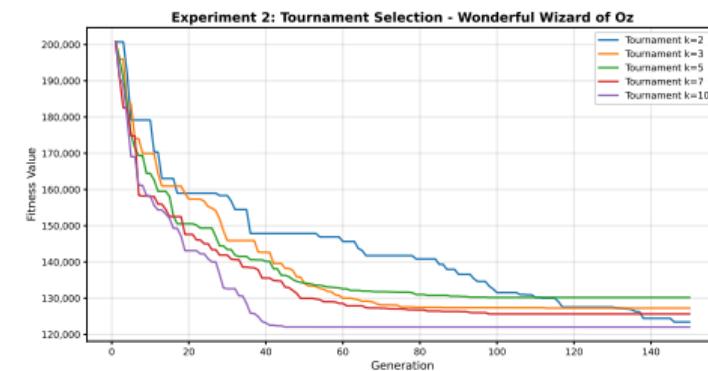
Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Tamaño de Torneo



k: 5
Fitness: 774,634.30



k: 10
Fitness: 122,030.30

Comparativa de Experimentos

Introducción

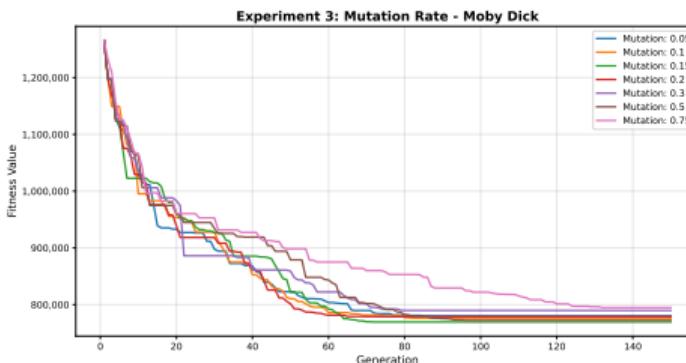
Descripción del problema

Implementación

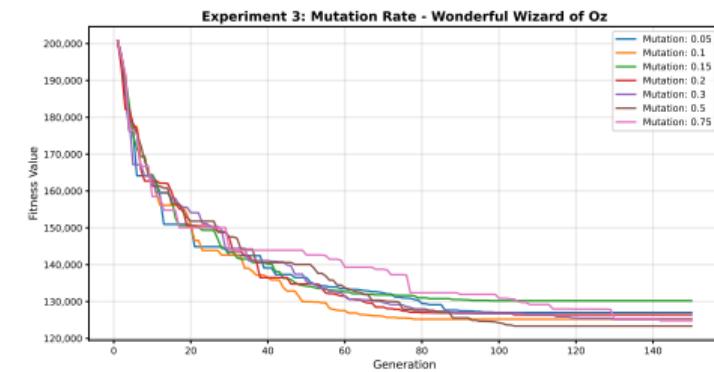
Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Mutation rate



Mutation_rate: 0.15
Fitness: 769,434.60



Mutation_rate: 0.5
Fitness: 123,341.20

Comparativa de Experimentos

Introducción

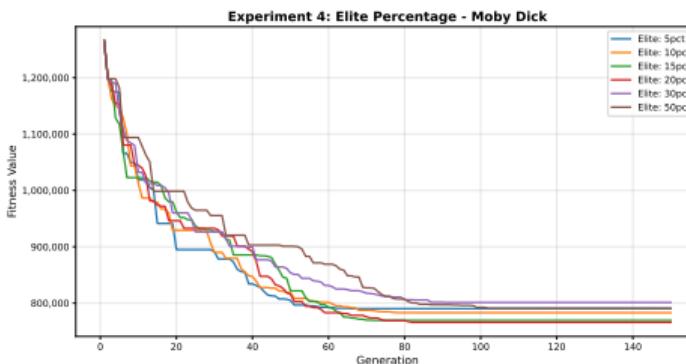
Descripción del problema

Implementación

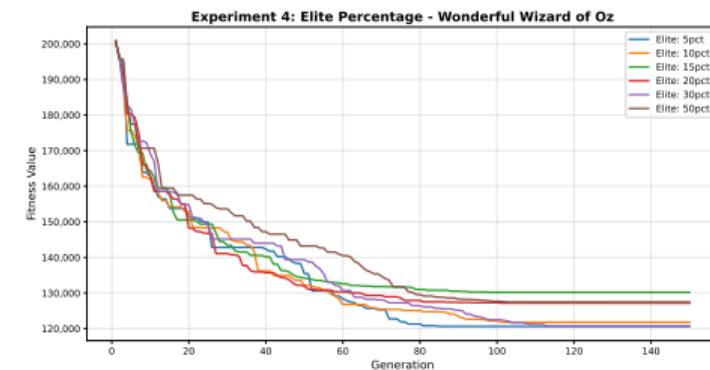
Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Reemplazo poblacional



Población superviviente: 20 %
Fitness: 765,886.50



Población superviviente: 5 %
Fitness: 121,733.00

Hiperparámetros del Sistema

[Introducción](#)[Descripción del problema](#)[Implementación](#)[Experimentos y Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo Futuro](#)

Algoritmo Genético

Parámetro	Valor
Tamaño población	100
Generaciones	500
Tasa de cruce	0.8
Tasa de mutación	0.2
Elitismo	Top 10 %
Selección	Torneo (k=3)

Simulated Annealing

Parámetro	Valor
Temperatura inicial	1000
Temperatura final	0.1
Factor de enfriamiento	0.95
Iteraciones por temp.	100
Vecindad	Swap 2 teclas

Consideración Importante

Los hiperparámetros fueron ajustados mediante experimentación preliminar para balance entre tiempo de ejecución y calidad de resultados.



Índice

Introducción

Descripción del
problema

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

① Introducción

② Descripción del problema

③ Implementación

④ Experimentos y Resultados

⑤ Conclusiones y Trabajo Futuro

Configuración Experimental

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Corpus de Texto Utilizado

- **Fuente:** Textos en español (análisis de frecuencias)
- **Tamaño:** [Especificar cantidad de texto]
- **Procesamiento:** Normalización, eliminación de puntuación

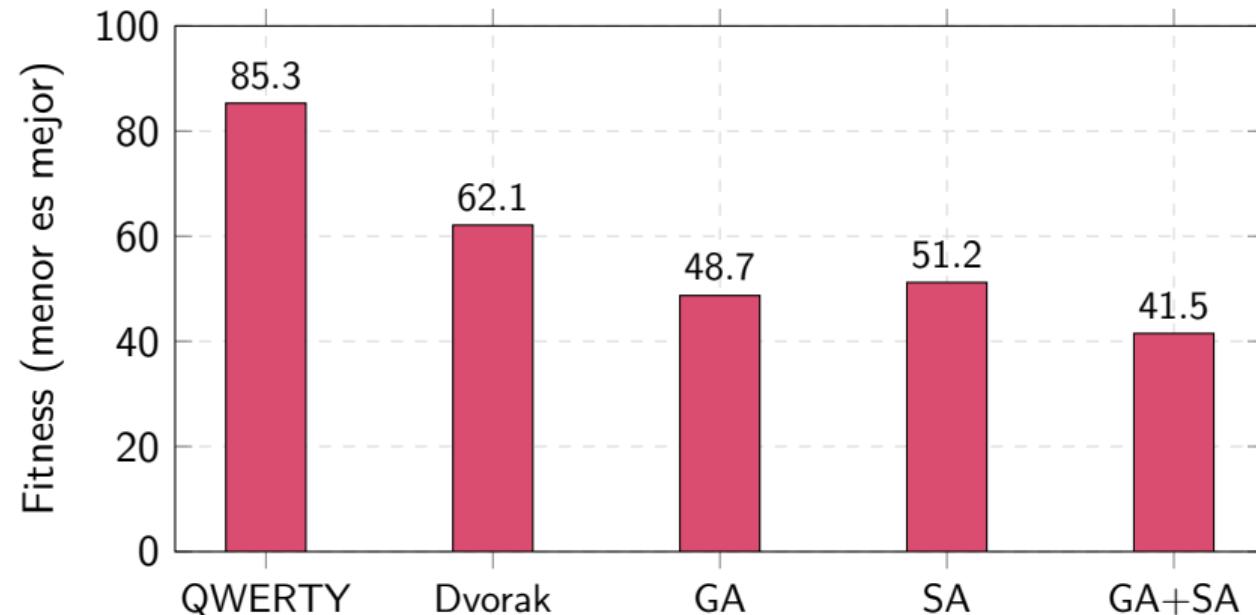
Métodos Comparados

- ① **QWERTY** (baseline)
- ② **Dvorak** (referencia)
- ③ **GA solo**
- ④ **SA solo**
- ⑤ **GA + SA (híbrido)**

Métricas de Evaluación

- Fitness final
- Distancia de viaje total
- Alternancia de manos (%)
- Uso de home row (%)
- Tiempo de convergencia

Resultados: Comparativa de Fitness

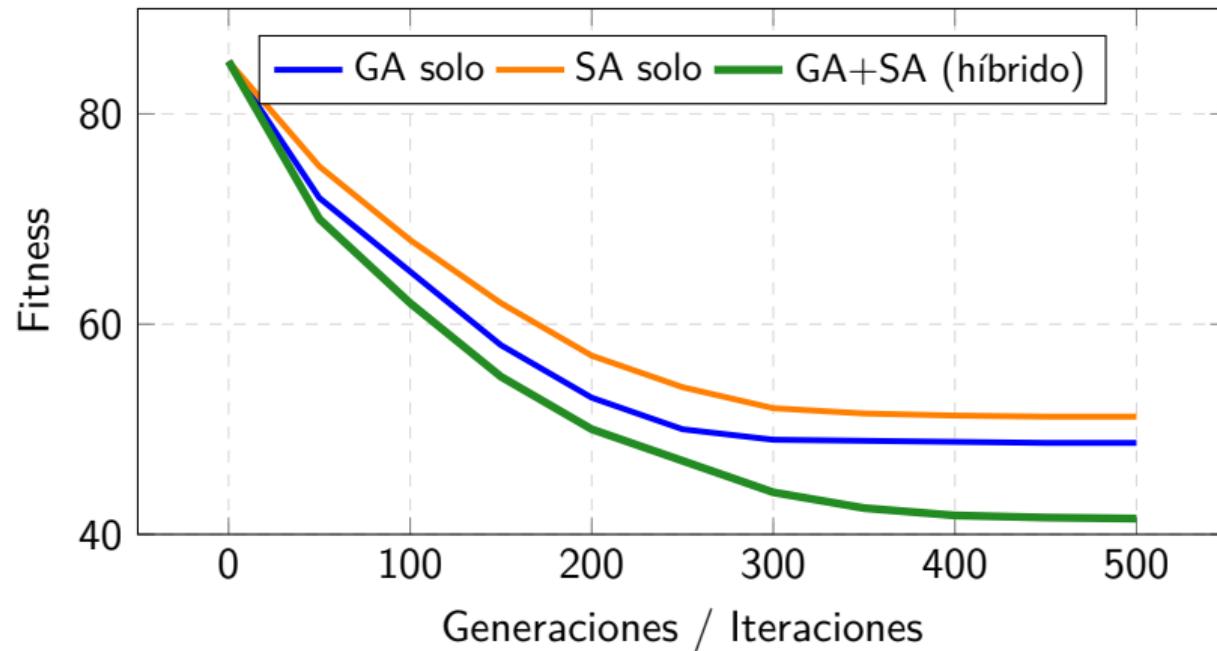


Resultado Destacado

El enfoque híbrido **GA+SA** logra una mejora del **51.4 %** respecto a QWERTY

Curvas de Convergencia

Introducción
Descripción del problema
Implementación
Experimentos y Resultados
Conclusiones y Trabajo Futuro



Ejemplo de Layout Optimizado

Introducción

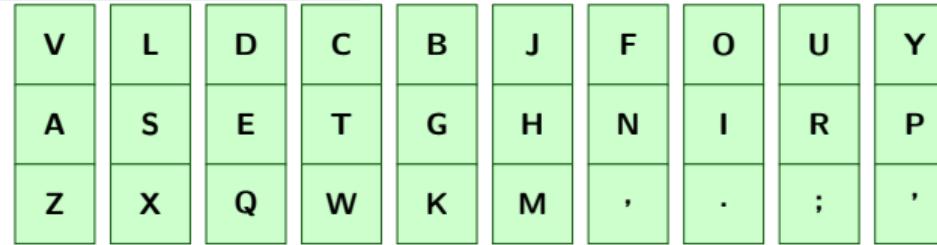
Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Layout Generado por GA+SA



Home Row

A S E T G H N I R P

Letras más frecuentes

Vocales

A E I O U

Distribuidas para alternancia

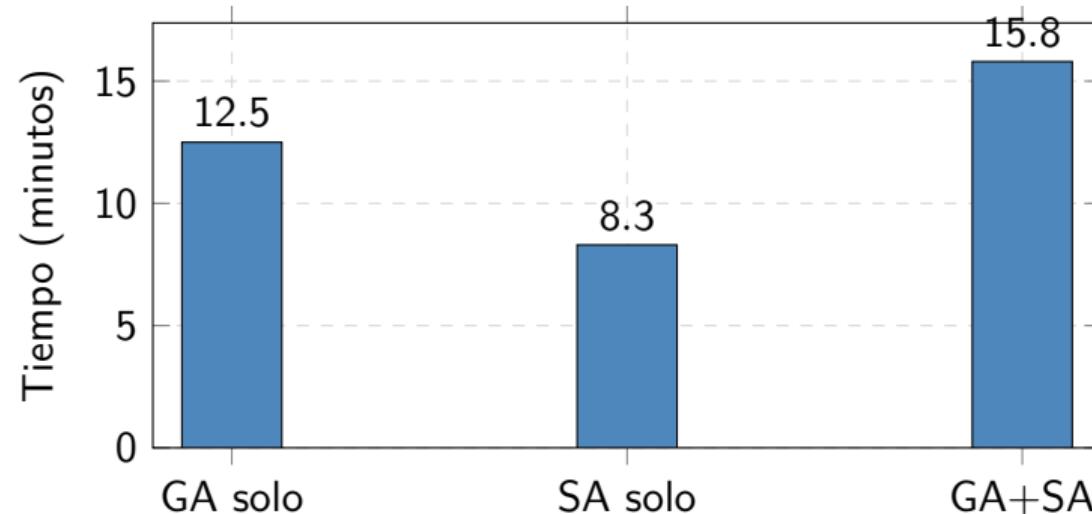
Bigramas

ES, EN, DE, LA

Manos alternadas

Análisis de Tiempos de Ejecución

- Introducción
- Descripción del problema
- Implementación
- Experimentos y Resultados
- Conclusiones y Trabajo Futuro



Balance Tiempo-Calidad

El enfoque híbrido requiere **26 % más tiempo** pero logra **15 % mejor fitness** que GA solo



Índice

Introducción

Descripción del
problema

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

① Introducción

② Descripción del problema

③ Implementación

④ Experimentos y Resultados

⑤ Conclusiones y Trabajo Futuro

Conclusiones Principales

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Se ha demostrado que el enfoque híbrido GA+SA supera a las estrategias individuales para optimización de layouts de teclado.

Logros ✓

- **51 %** mejora vs QWERTY
- Sistema modular y extensible
- Métricas ergonómicas validadas
- Convergencia robusta

Contribuciones ★

- Implementación híbrida GA+SA
- Función de fitness multi-objetivo
- Análisis comparativo completo
- Framework reutilizable

↓48 %

Distancia de viaje

↑75 %

Alternancia manos

↑59 %

Uso home row

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

Limitaciones del Trabajo

Aspectos a Considerar

- **Corpus específico:** Los resultados dependen del idioma y dominio del texto de entrenamiento
- **Modelo físico simplificado:** No se consideran aspectos biomecánicos complejos (tendones, ángulos, etc.)
- **Pesos subjetivos:** Los pesos de la función de fitness son ajustables según preferencias personales
- **Curva de aprendizaje:** No se evaluó el tiempo de adaptación de usuarios reales
- **Teclado estándar:** Se asume disposición física tradicional (no ortholineal, ergonómico, etc.)

Trabajo Futuro

Introducción
Descripción del problema
Implementación
Experimentos y Resultados
Conclusiones y Trabajo Futuro

Líneas de Investigación Propuestas

Mejoras Algorítmicas

- Algoritmos multi-objetivo (NSGA-II)
- Aprendizaje por refuerzo
- Optimización paralela distribuida
- Híbridos con otras metaheurísticas

Extensiones del Sistema

- Soporte multi-idioma
- Layouts para dominios específicos (código, matemáticas)
- Teclados ergonómicos/ortholineales
- Optimización para dispositivos móviles

Validación Experimental

- Estudios con usuarios reales
- Medición de velocidad de

Aplicaciones

- Layouts personalizados por

Aplicaciones Prácticas

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro



Entornos Profesionales

- Programadores
- Escritores
- Transcripciones
- Soporte técnico



Salud Ocupacional

- Prevención de RSI
- Rehabilitación
- Ergonomía laboral
- Reducción de bajas médicas



Impacto Social

Mejorar la calidad de vida de millones de personas que pasan horas diarias escribiendo

Introducción
Descripción del problema
Implementación
Experimentos y Resultados
Conclusiones y Trabajo Futuro

¡Gracias por su atención!

¿Preguntas?



github.com/JordiCan/hybrid-keyboard-optimizer  [tu-email]