

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

Jordi Cantavella Ferrero

MIARFID
Universitat Politècnica de València
Valencia, [Fecha]





- Introducción
- Fundamentos Teóricos
- Implementación
- Experimentos y Resultados
- Conclusiones y Trabajo Futuro

1 Introducción

2 Fundamentos Teóricos

3 Implementación

4 Experimentos y Resultados

5 Conclusiones y Trabajo Futuro



Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

1 Introducción

2 Fundamentos Teóricos

3 Implementación

4 Experimentos y Resultados

5 Conclusiones y Trabajo Futuro

El Problema del Diseño de Teclados

El Layout QWERTY

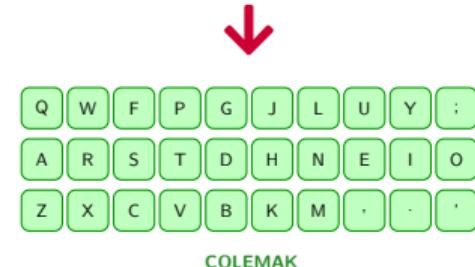
Diseñado en 1873 para máquinas de escribir mecánicas, no para eficiencia ergonómica.



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

Fundamentos Teóricos

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:





Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

① Introducción

② Fundamentos Teóricos

③ Implementación

④ Experimentos y Resultados

⑤ Conclusiones y Trabajo Futuro



Introducción

Fundamentos Teóricos

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 euclídea
- ② Penalizaciones por dedos
- ③ Frecuencia del bigrama

Objetivo

MINIMIZAR
el costo total

[Introducción](#)[Fundamentos Teóricos](#)[Implementación](#)[Experimentos y
Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo
Futuro](#)

Métrica 1: Distancia Euclídea

Distancia Física

Distancia geométrica entre teclas
en el espacio 2D.

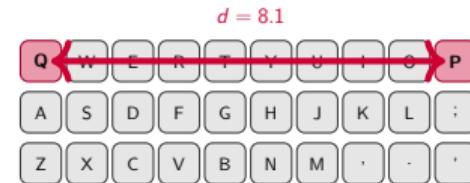
$$d = \sqrt{(\Delta \text{fila})^2 + (\Delta \text{col})^2}$$

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

Distancia CORTA



Distancia LARGA



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



Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

Métrica 2: Same-Hand Penalty

Misma Mano

Penalización por usar dedos
diferentes de la misma mano.

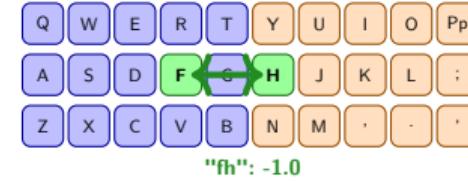
Lógica

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

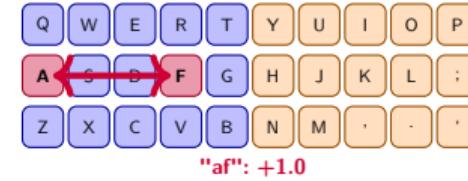
Objetivo

Favorecer alternancia de manos

BUENO: Manos Alternadas (-1.0)



MALO: Misma Mano (+1.0)



[Introducción](#)[Fundamentos Teóricos](#)[Implementación](#)[Experimentos y
Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo
Futuro](#)

Métrica 2: Row Jump Penalty

Salto de Fila

Penalización por movimiento vertical entre filas.

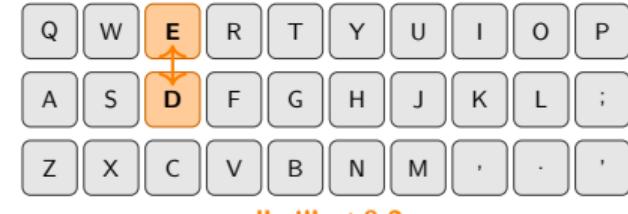
Penalizaciones

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

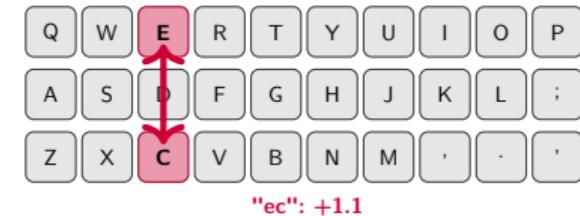
Adicional

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

Salto 1 Fila (+0.2)



Salto 2 Filas (+0.8+0.3)



Métrica 2: Weak Finger Penalty

Introducción

Fundamentos Teóricos

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



A frecuente muy malo

O frecuente malo



Cálculo Final del Fitness

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

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

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

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](#)[Fundamentos Teóricos](#)[Implementación](#)[Experimentos y
Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo
Futuro](#)

Métricas de Evaluación de Layouts

¿Cómo medimos la calidad de un layout?

Un buen layout debe minimizar el esfuerzo y maximizar la comodidad.

Distancia de Viaje

- Distancia total recorrida por los dedos
- Basada en frecuencias de letras
- Penaliza movimientos grandes

$$D = \sum_{i,j} freq(i,j) \times dist(i,j)$$

Alternancia de Manos

- Frecuencia de cambio entre manos
- Mayor alternancia = menor fatiga
- Basada en bigramas comunes

$$A = \frac{\text{bigramas entre manos}}{\text{total bigramas}}$$

Otras Métricas

- **Uso de fila home:** Porcentaje de teclas en posición de reposo
- **Same-finger bigrams:** Penalización de secuencias con el mismo dedo
- **Distribución de carga:** Balance entre dedos y manos

Algoritmos Genéticos (GA)

[Introducción](#)[Fundamentos Teóricos](#)[Implementación](#)[Experimentos y Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo Futuro](#)

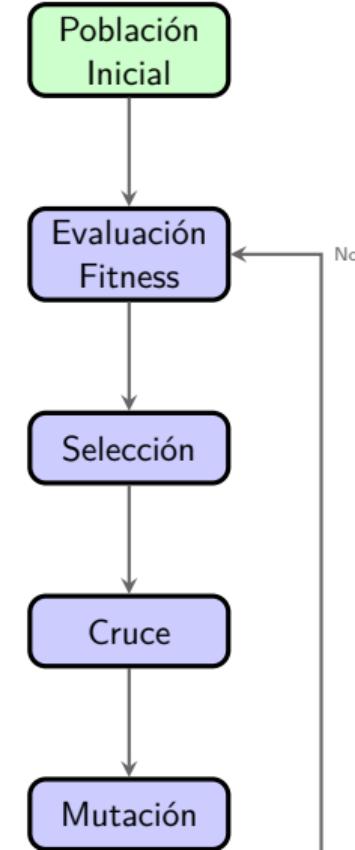
Inspiración Biológica

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

Componentes Principales

- **Población:** Conjunto de layouts candidatos
- **Fitness:** Función de evaluación (métricas)
- **Selección:** Elitismo + torneo
- **Cruce:** Order crossover (OX)
- **Mutación:** Swap de teclas aleatorias

Ventaja



Simulated Annealing (SA)

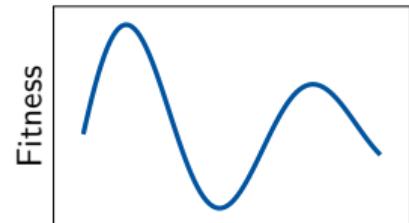
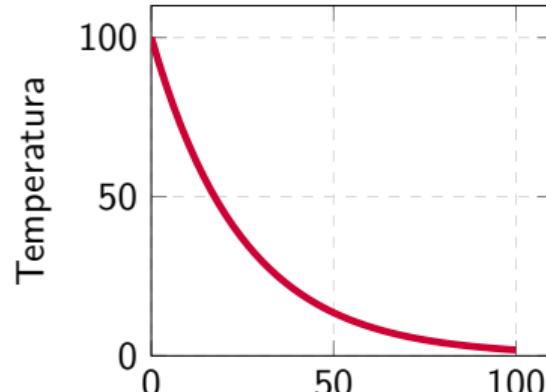
Inspiración Metalúrgica

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

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

¿Por qué combinar ambos algoritmos?

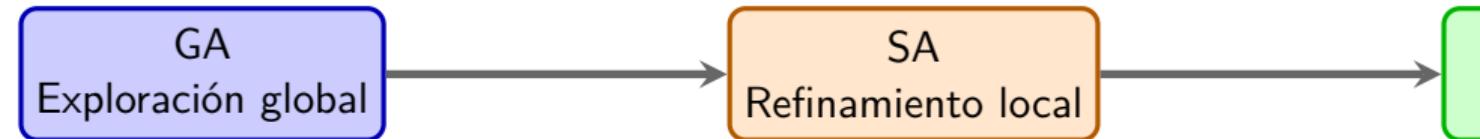
Aprovechar las fortalezas complementarias de cada algoritmo.

Algoritmo Genético

- + Exploración global
- + Población diversa
- Convergencia prematura

Simulated Annealing

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





Índice

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

1 Introducción

2 Fundamentos Teóricos

3 Implementación

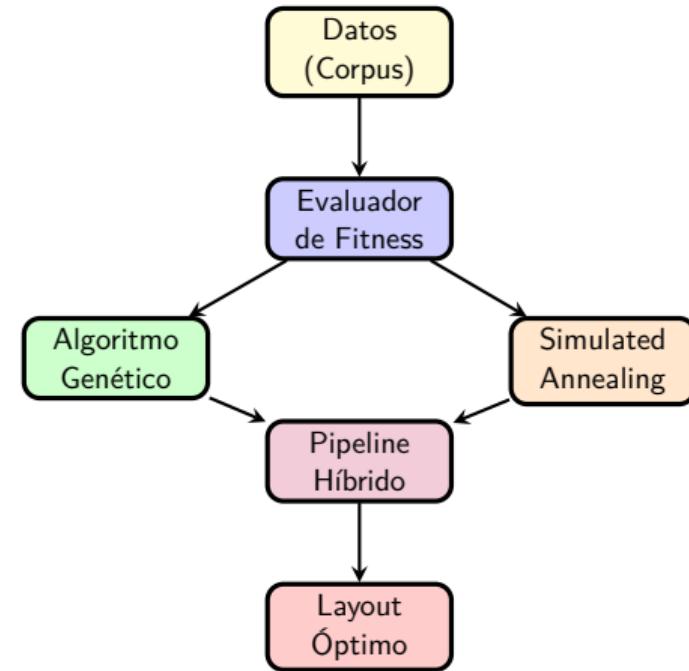
4 Experimentos y Resultados

5 Conclusiones y Trabajo Futuro

Arquitectura del Sistema

Componentes Principales

- **Módulo de datos:** Frecuencias y bigramas
- **Módulo de evaluación:** Cálculo de métricas
- **Algoritmo GA:** Optimización poblacional
- **Algoritmo SA:** Refinamiento local
- **Pipeline híbrido:** Integración GA→SA



Tecnologías

- Python 3.x

[Introducción](#)[Fundamentos Teóricos](#)[Implementación](#)[Experimentos y
Resultados](#)[Conclusiones y Trabajo
Futuro](#)

Representación de un Layout

Estructura de Datos

Un layout se representa como una lista de 26 caracteres (A-Z) mapeados a posiciones físicas del teclado.

```
# Ejemplo: Layout QWERTY
layout = [
    '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'
]

# Coordenadas físicas
positions = {
    'Q': (0, 0), 'W': (1, 0), ...
    'A': (0.5, 1), ...
}
```

Operadores Genéticos

Mutación (Swap):

- Intercambiar 2 teclas aleatorias

Cruce (OX):

- Order crossover preservando posiciones
- Herencia de padre 1 y padre 2

Restricción: Cada letra aparece

Función de Fitness

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

Combinación de Múltiples Métricas

El fitness es una suma ponderada de diferentes objetivos.

$$Fitness = w_1 \cdot D + w_2 \cdot (1 - A) + w_3 \cdot SF + w_4 \cdot (1 - H)$$

Componentes

- D : Distancia de viaje (minimizar)
- A : Alternancia de manos (maximizar)
- SF : Same-finger penalty (minimizar)
- H : Uso de home row (maximizar)

Pesos Utilizados

```
weights = {  
    'distance': 0.4,  
    'alternation': 0.3,  
    'same_finger': 0.2,  
    'home_row': 0.1  
}
```

Ajustables según preferencias

Hiperparámetros del Sistema

[Introducción](#)[Fundamentos Teóricos](#)[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
- Fundamentos Teóricos
- Implementación
- Experimentos y Resultados
- Conclusiones y Trabajo Futuro

1 Introducción

2 Fundamentos Teóricos

3 Implementación

4 Experimentos y Resultados

5 Conclusiones y Trabajo Futuro

Configuración Experimental

Corpus de Texto Utilizado

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

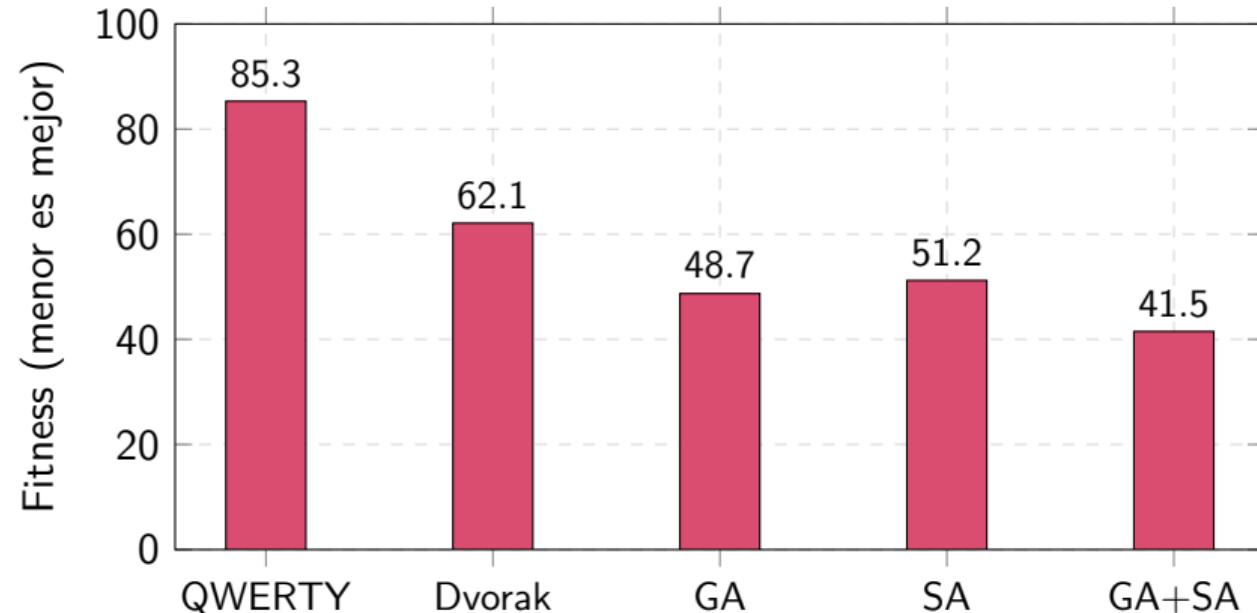
Métodos Comparados

- 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

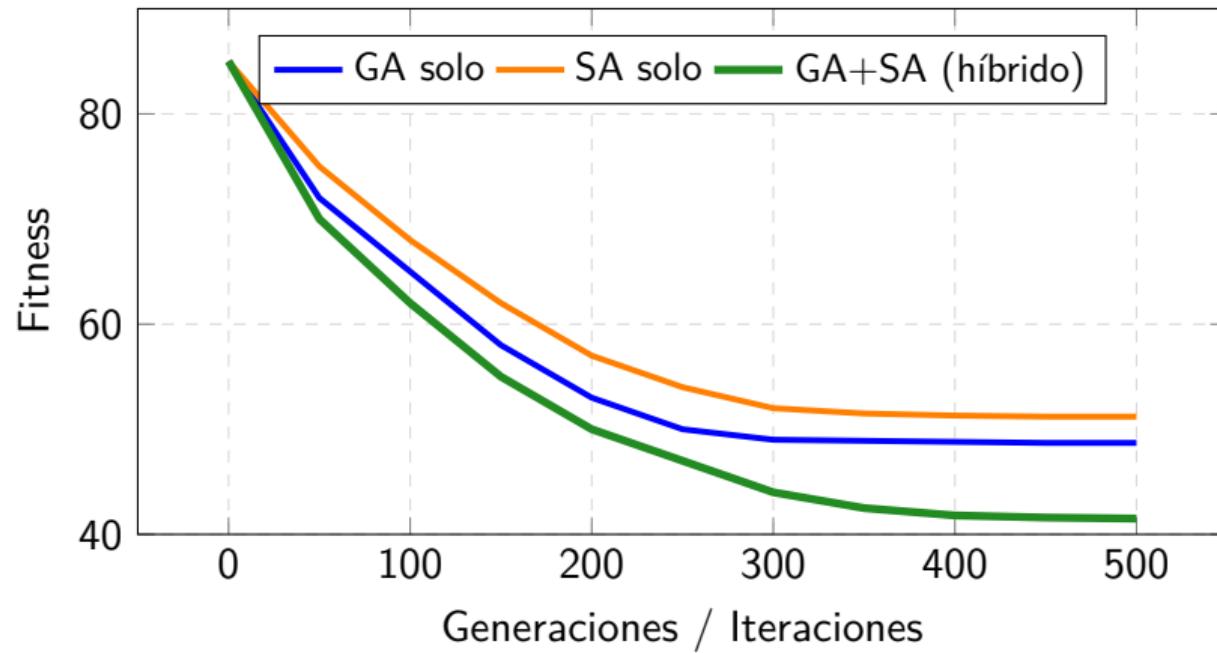


Resultado Destacado

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

Curvas de Convergencia

Introducción
Fundamentos Teóricos
Implementación
Experimentos y Resultados
Conclusiones y Trabajo Futuro



Ejemplo de Layout Optimizado

Introducción

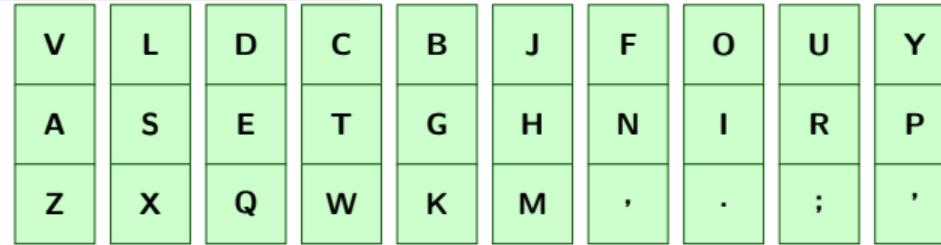
Fundamentos Teóricos

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

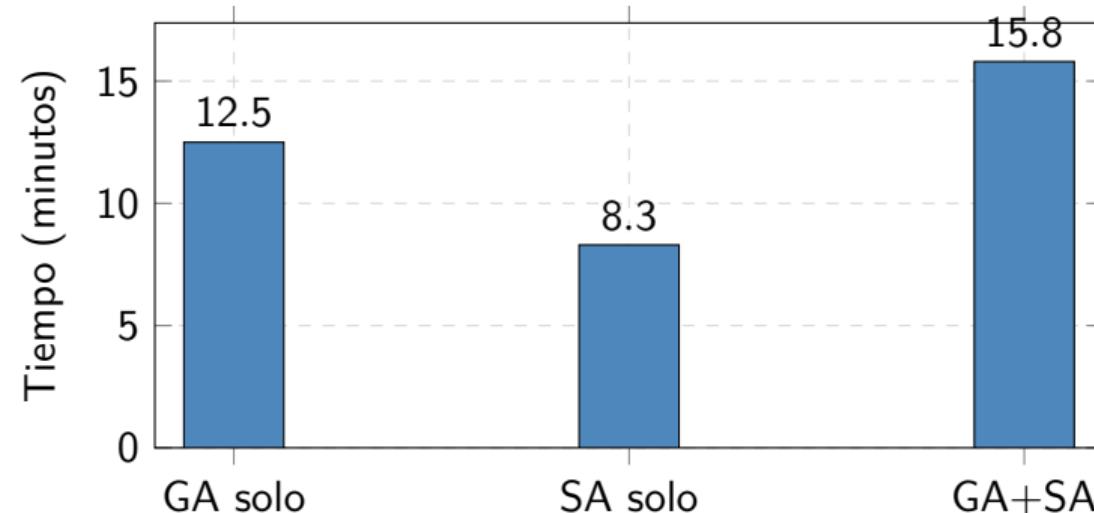
Bigramas

ES, EN, DE, LA

Manos alternadas

Análisis de Tiempos de Ejecución

- Introducción
- Fundamentos Teóricos
- 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
- Fundamentos Teóricos
- Implementación
- Experimentos y Resultados
- Conclusiones y Trabajo Futuro

1 Introducción

2 Fundamentos Teóricos

3 Implementación

4 Experimentos y Resultados

5 Conclusiones y Trabajo Futuro

Conclusiones Principales

Introducción

Fundamentos Teóricos

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



Limitaciones del Trabajo

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

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

Líneas de Investigación Propuestas

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y
Resultados

Conclusiones y Trabajo
Futuro

Mejoras Algorítmicas

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

Validación Experimental

- Estudios con usuarios reales
- Medición de velocidad de

Extensiones del Sistema

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

Aplicaciones

- Layouts personalizados por

Aplicaciones Prácticas

Introducción

Fundamentos Teóricos

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
Fundamentos Teóricos
Implementación
Experimentos y
Resultados
Conclusiones y Trabajo
Futuro

¡Gracias por su atención!

¿Preguntas?



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