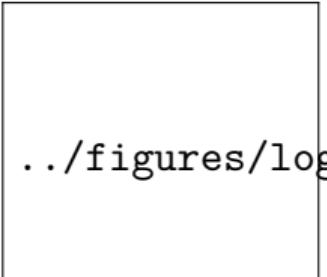


# Optimización Híbrida de Layouts de Teclado mediante Algoritmos Genéticos y Enfriamiento Simulado

Jordi Cantavella Ferrero

MIARFID  
Universitat Politècnica de València  
Valencia, [Fecha]



../figures/logo-upv.pdf

# Índice

Introducción

Descripción del  
problema

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro

# Índice

Introducción

Descripción del  
problema

Implementación

Experimentos y  
Resultados

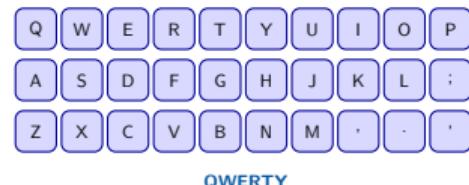
Conclusiones y Trabajo  
Futuro

# El Problema del Diseño de Teclados

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

## El Layout QWERTY

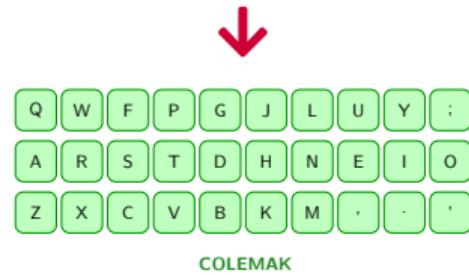
Diseñado en 1873 para máquinas de escribir mecánicas, no para eficiencia ergonómica.



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

# Codificación de un Individuo

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

```
#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', ',', '.', '"'
]
```

## Representación del Layout

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

**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**

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 | , | . | " |

[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 Euclídea

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

## Distancia Física

Distancia geométrica entre teclas en el espacio 2D.

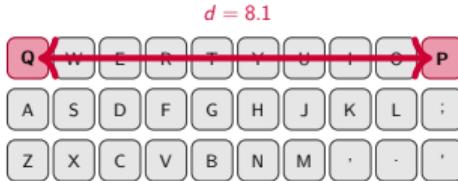
$$d = \sqrt{(\Delta \text{fila})^2 + (\Delta \text{col})^2}$$

- Layout  $3 \times 10$  (posiciones 0-29)
- Menor distancia = más eficiente

## Distancia CORTA



## Distancia LARGA



# Métrica 2: Same-Finger Penalty

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

## 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



# 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.

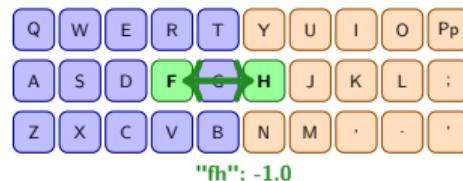
## Lógica

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

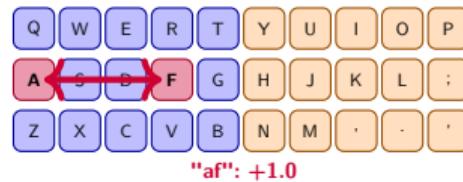
## Objetivo

Favorecer alternancia de manos

## BUENO: Manos Alternadas (-1.0)



## MALO: Misma Mano (+1.0)



# Métrica 2: Row Jump Penalty

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

## Salto de Fila

Penalización por movimiento vertical entre filas.

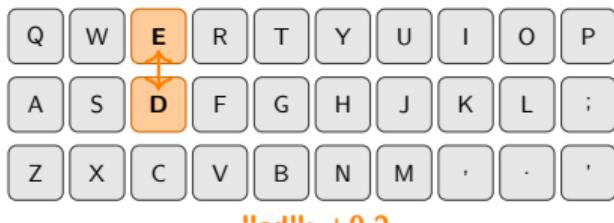
## Penalizaciones

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

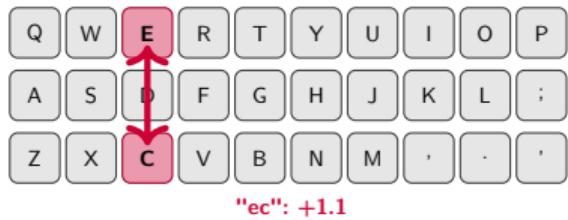
## Adicional

- 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

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



**A** frecuente muy malo

**O** frecuente malo

# 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 |
|-------------|------|

---

|               |             |
|---------------|-------------|
| <b>Total:</b> | <b>3300</b> |
|---------------|-------------|

# Corpus de Texto Utilizados

## Datasets para Experimentación

Dos libros clásicos con características lingüísticas diferentes.

recursos/moby\_dick.jpeg

recursos/wonderful\_wizar

**The Wizard of Oz**  
L. Frank Baum (1900)

**Moby Dick**  
Herman Melville (1851)

# Simulated Annealing (SA)

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

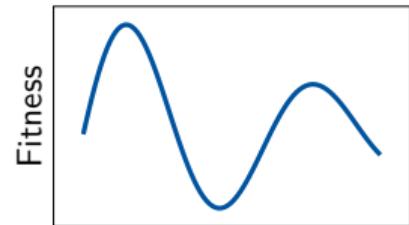
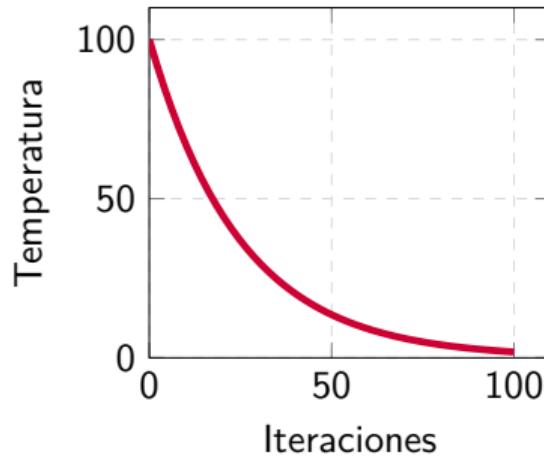
## Inspiración Metalúrgica

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?

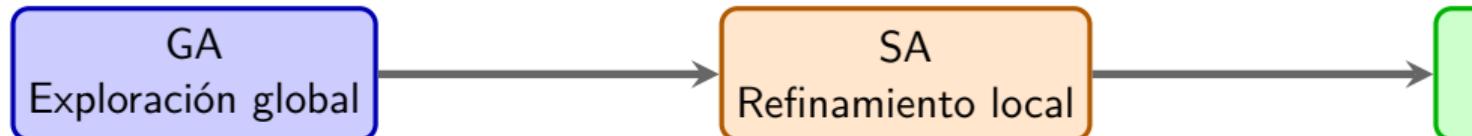
Aprovechar las fortalezas complementarias de cada algoritmo.

### 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

# Arquitectura de los experimentos

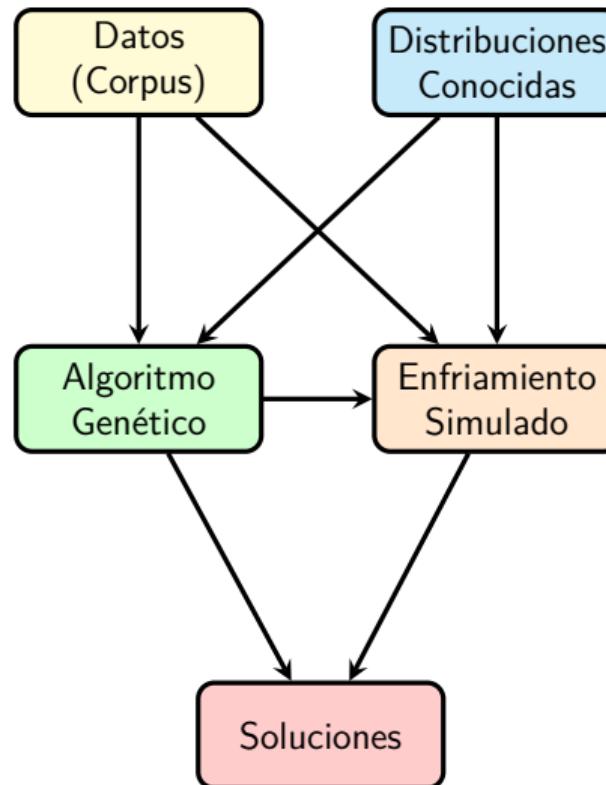
Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro



# Algoritmos Genéticos (GA)

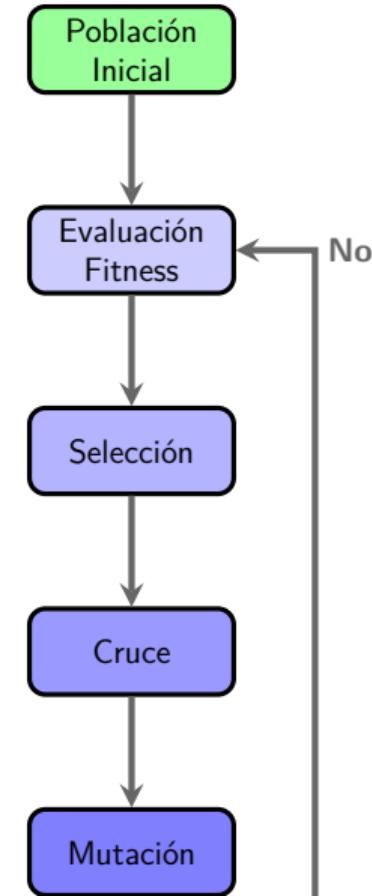
Introducción  
Descripción del problema  
Implementación  
Experimentos y Resultados  
Conclusiones y Trabajo Futuro

## 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

## Tamaño de la población

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

recursos/exp1\_population\_size\_mohyre\_cdrinsosp/exp1\_population\_size\_w

## Comparativa de Experimentos

## Tamaño de Torneo

recursos/exp2\_tournament\_selection.mysqld/exp2pd/tournament\_selection

# Comparativa de Experimentos

## Mutation rate

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

recursos/exp3\_mutation\_rate\_moby\_rhicks.pdf/exp3\_mutation\_rate\_wond

# Comparativa de Experimentos

## Reemplazo poblacional

Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

Conclusiones y Trabajo Futuro

recursos/exp4\_elite\_percentage\_mainyurdicks/pdf4\_elite\_percentage\_w

# 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

# 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)**

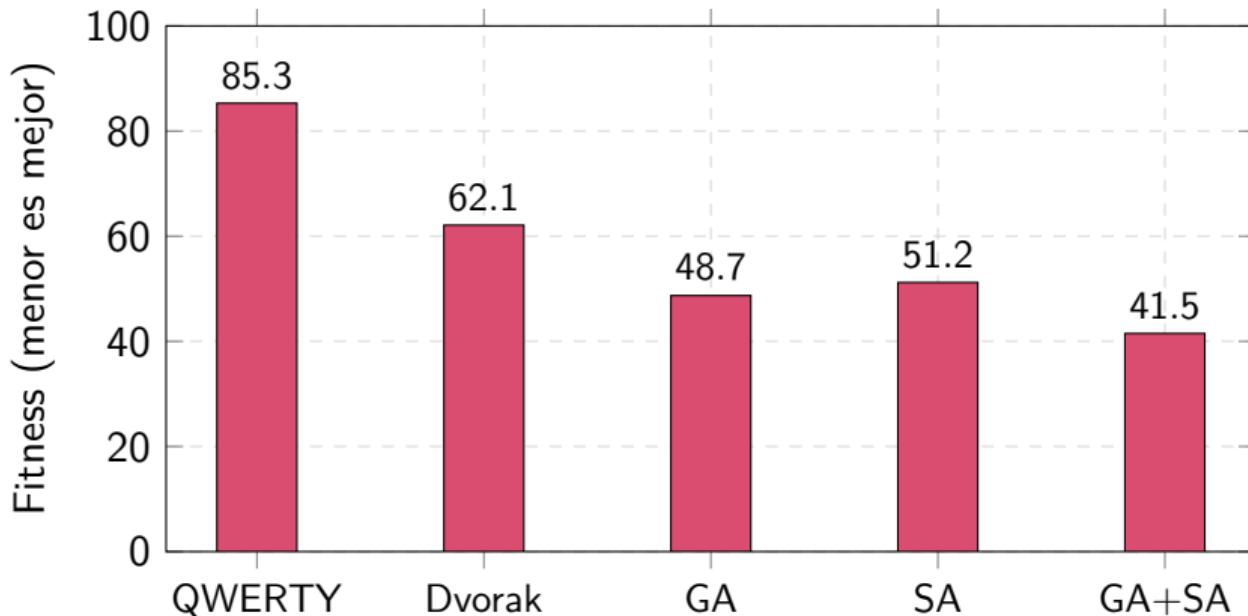
## Métricas de Evaluación

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

*Cada algoritmo se ejecutó 10 veces con diferentes semillas aleatorias*

# Resultados: Comparativa de Fitness

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



## Resultado Destacado

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

# Curvas de Convergencia

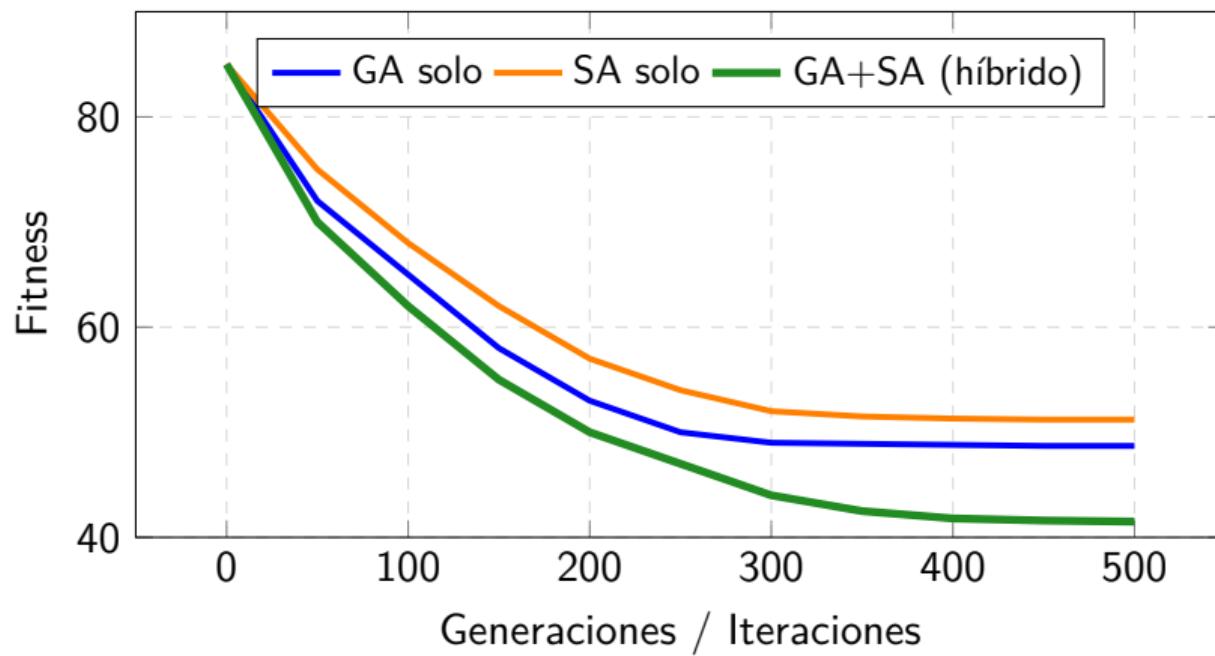
Introducción

Descripción del problema

Implementación

Experimentos y Resultados

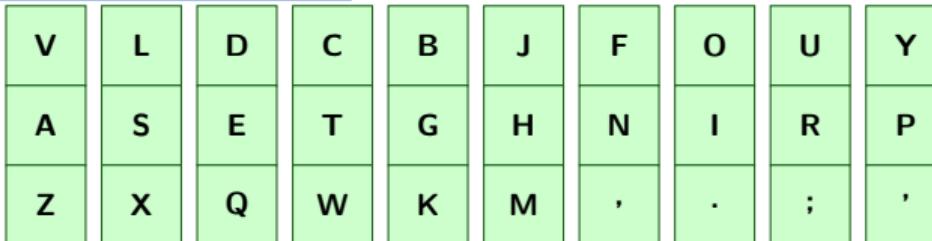
Conclusiones y Trabajo Futuro



# 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

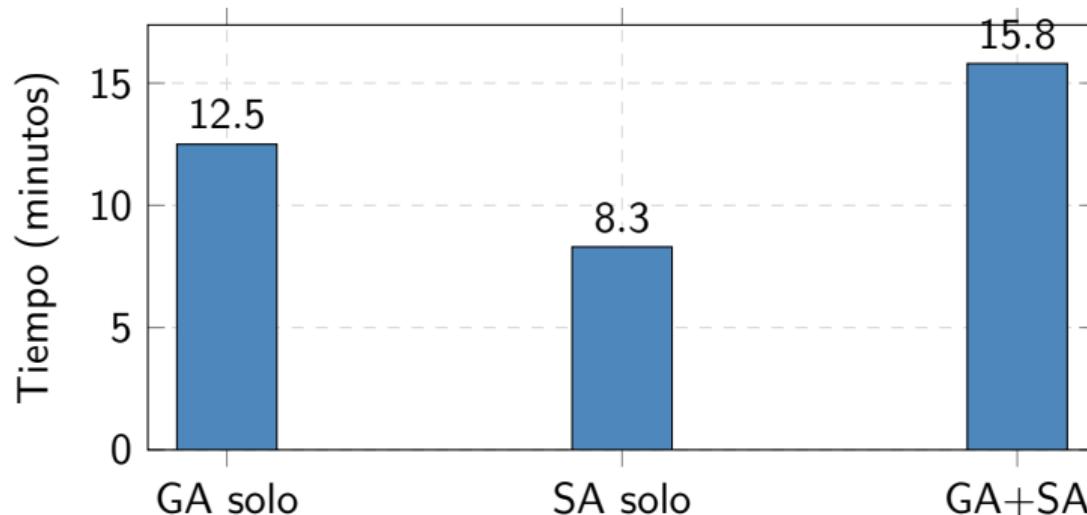
### Bigramas

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

# 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

# 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

## Líneas de Investigación Propuestas

Introducción

Descripción del problema

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  
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](https://github.com/JordiCan/hybrid-keyboard-optimizer) [tu-email]