

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

Jordi Cantavella Ferrero

MIARFID

Universitat Politècnica de València

Valencia, [Fecha]



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



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

## Introducción

### Fundamentos Teóricos

### Implementación

### Experimentos y Resultados

### Conclusiones y Trabajo Futuro

## El Layout QWERTY

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

## Problemas Actuales

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

*¿Podemos encontrar un layout más eficiente*



QWERTY



COLEMAK

# 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

# Función de Fitness: Visión General

## Evaluación Basada en Bigramas

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

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

### Componentes

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

### Objetivo

**MINIMIZAR**

el costo total

# Métrica 1: Distancia Euclidiana

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro

## Distancia Física

Distancia geométrica entre teclas  
en el espacio 2D.

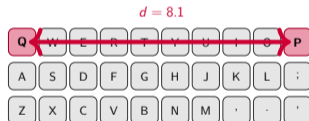
$$d = \sqrt{(\Delta fila)^2 + (\Delta col)^2}$$

- 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

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	,	.	'

## Ejemplo: "ed" en 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	,	.	'

Dedo medio

penalty +1.0

## Métrica 2: Same-Hand Penalty

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro

### Misma Mano

Penalización por usar dedos diferentes de la misma mano.

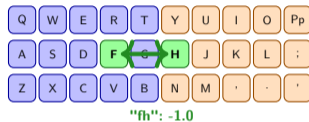
### Lógica

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

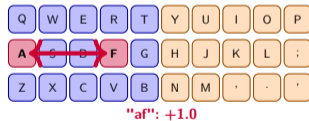
### Objetivo

Favorecer alternancia de manos

### BUENO: Manos Alternadas (-1.0)



### MALO: Misma Mano (+1.0)



# Métrica 2: Row Jump Penalty

Introducción

Fundamentos Teóricos

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)

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	,	.	'

"ed": +0.2

## Salto 2 Filas (+0.8+0.3)

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	,	.	'

"ec": +1.1

## 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

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

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

## 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
<hr/>	
Multiplicador:	2.2
Costo:	2.2
Freq("ed"):	1500
<hr/>	
<b>Total:</b>	<b>3300</b>

# 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:** Balances entre dedos y manos

# Algoritmos Genéticos (GA)

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

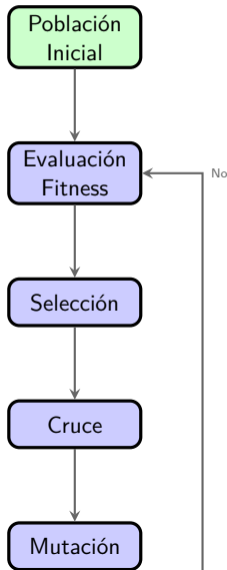
Experimentos y  
ResultadosConclusiones y Trabajo  
Futuro

## 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



# Simulated Annealing (SA)

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro

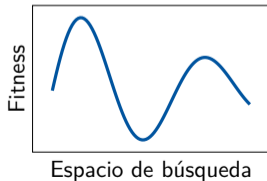
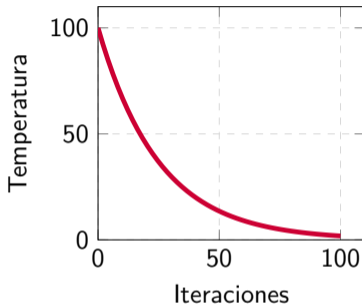
## Inspiración Metalúrgica

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

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro

## ¿Por qué combinar ambos algoritmos?

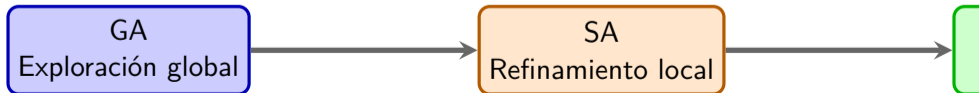
Aprovechar las fortalezas complementarias de cada algoritmo.

### Algoritmo Genético

- + Exploración global
- + Población diversa
- Convergencia prematura

### Simulated Annealing

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





Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro

1 Introducción

2 Fundamentos Teóricos

3 Implementación

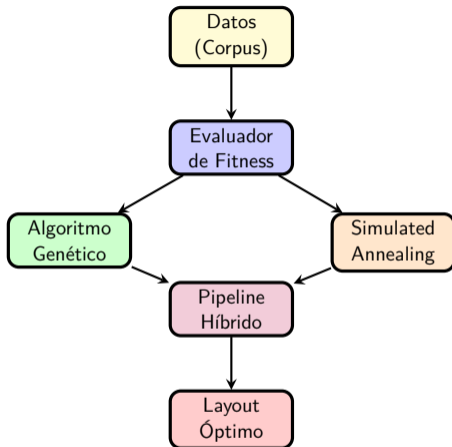
4 Experimentos y Resultados

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

## 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.



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

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

# Resultados: Comparativa de Fitness

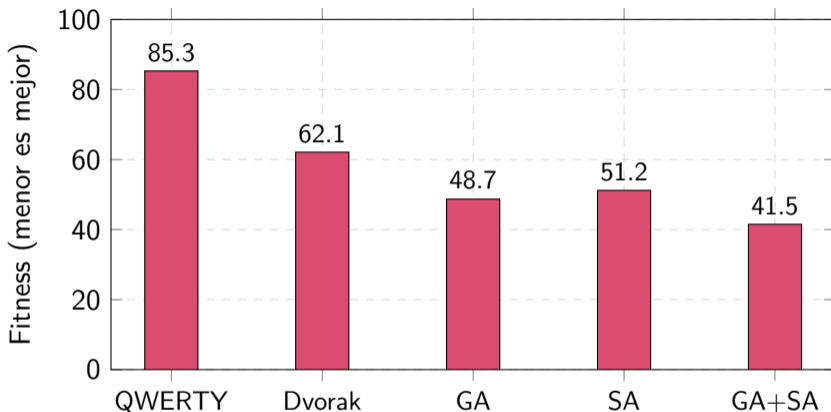
Introducción

Fundamentos Teóricos

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

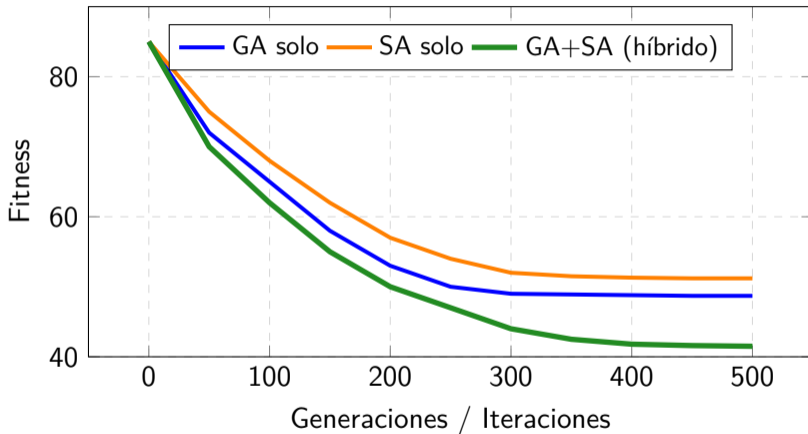
Introducción

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

V	L	D	C	B	J	F	O	U	Y
A	S	E	T	G	H	N	I	R	P
Z	X	Q	W	K	M	,	.	;	'

### 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

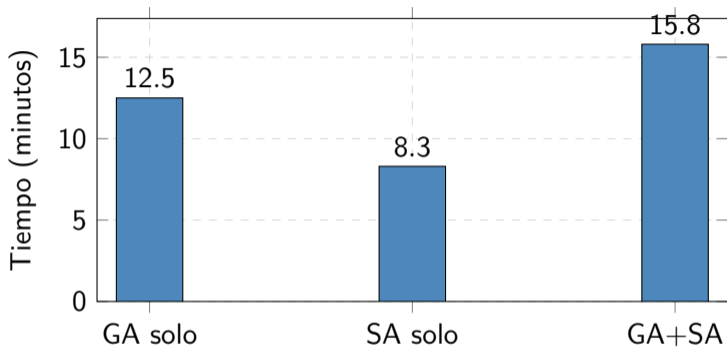
Introducción

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



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

**↓48 %**

Distancia de viaje

**↑75 %**

Alternancia manos

**↑59 %**

Uso home row

## Contribuciones

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



# 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.)

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro



# 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

Introducción

Fundamentos Teóricos

Implementación

Experimentos y  
Resultados

Conclusiones y Trabajo  
Futuro



## Entornos Profesionales

- Programadores
- Escritores
- Transcriptores
- 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]`