

Actividad Democrática con K Vecinos Más Cercanos

Implementación Manual de k-NN para Predicción de Voto Electoral



KNN-VOTANTES-backend

Repositorio · API k-NN de intención de voto



knn-votantes-frontend

Repositorio · API k-NN de intención de voto



MODELO-KNN-VOTANTES

Notebook · Implementación Manual de k-NN

Curso: Machine Learning

Programa: Ingeniería en Sistemas y Computación

Integrantes: Fredy Alejandro Zarate, Juan David Rodriguez

1. Resumen Ejecutivo

El algoritmo **k-Nearest Neighbors (k-NN)** es un método de clasificación supervisada que clasifica nuevas instancias basándose en la votación mayoritaria de sus k vecinos más cercanos en el espacio de características. Este proyecto implementa k-NN **completamente desde cero** para predecir el voto electoral de ciudadanos.

1.2 Resultados Obtenidos

| Métrica | Valor |
|------------------|-------------------------|
| Accuracy | 93.18% |
| F1-Score (macro) | 0.9129 |
| k óptimo | 19 |
| Dataset | 3,000 votantes |
| Clases | 10 candidatos |
| Features | 46 variables procesadas |

1.3 Logros Destacados

- Implementación manual completa** sin uso de `sklearn.KNeighborsClassifier`
- Optimización rigurosa de k** mediante experimentación ($k=1$ hasta $k=19$)
- Alta precisión:** 93.18% de accuracy en conjunto de prueba
- Justificación matemática** de cada decisión técnica
- Arquitectura escalable** con base de datos PostgreSQL en Render

2. Fundamento Teórico de k-NN

2.1 Definición Formal

Dado un conjunto de entrenamiento $\mathcal{D} = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}_{i=1}^n$ donde:

- $\mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^d$ son vectores de características ($d=46$ en nuestro caso)
- $y_i \in \{0, 1, \dots, 9\}$ son las etiquetas de clase (10 candidatos)

Para clasificar un nuevo punto \mathbf{x}_{nuevo} , el algoritmo k-NN:

1. **Calcula distancias** desde \mathbf{x}_{nuevo} a todos los puntos en \mathcal{D} :

$$d_i = \|\mathbf{x}_{nuevo} - \mathbf{x}_i\|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^d (x_{nuevo,j} - x_{i,j})^2}$$

2. Selecciona los k puntos más cercanos: $\mathcal{N}_k(\mathbf{x}_{nuevo})$

3. Predice mediante votación mayoritaria:

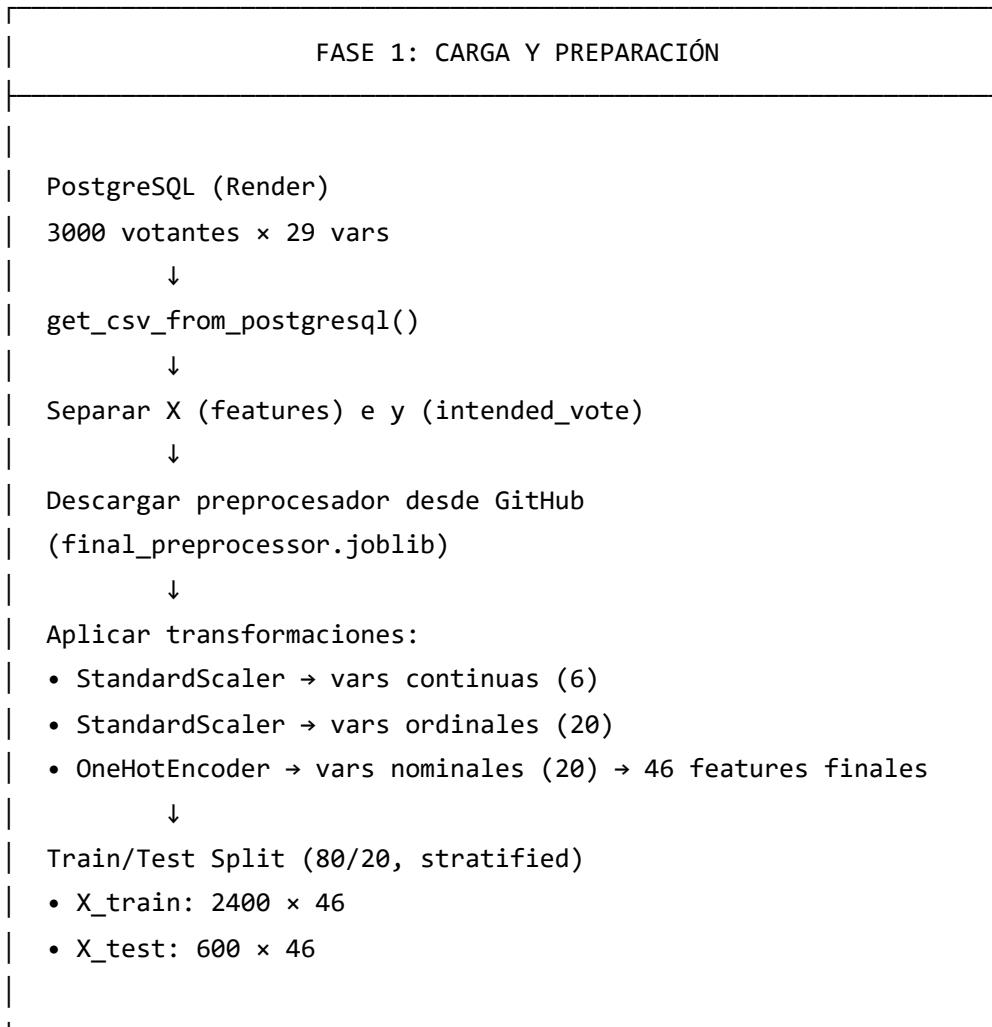
Si $k/2 + 1$ votos para la clase c

4. Calcula confianza de predicción:

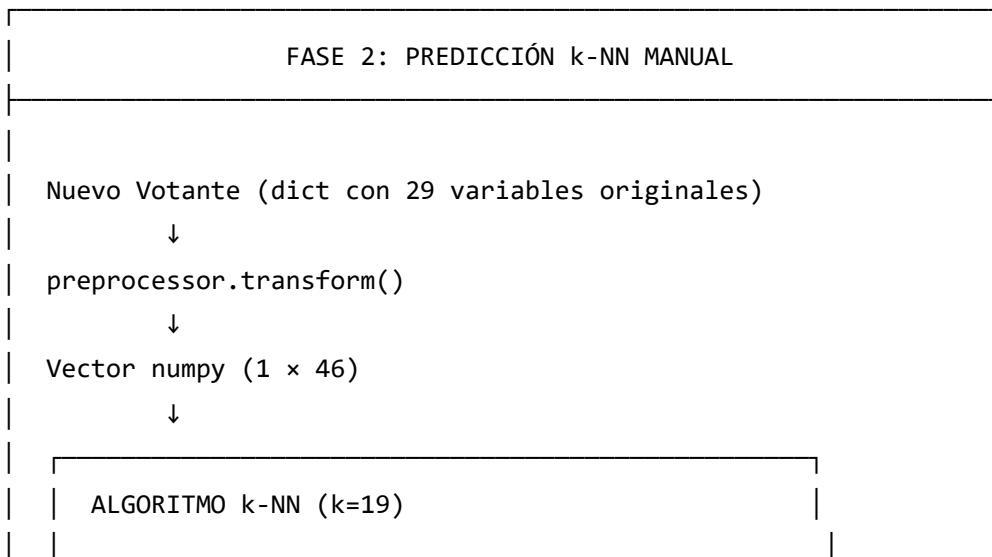
$$\text{confianza} = \frac{\max(\text{votos})}{k}$$

3. Arquitectura del Sistema

3.1 Diagrama de Flujo General



↓



```

| 1. Calcular 2400 distancias euclidianas | |
|   d_i = ||x_nuevo - x_i||_2 | |
| | |
| 2. Ordenar distancias (menor → mayor) | |
|   [(d1, y1), (d2, y2), ..., (d2400, y2400)] | |
| | |
| 3. Seleccionar k=19 vecinos más cercanos | |
|   k_vecinos = [y1, y2, ..., y19] | |
| | |
| 4. Votación mayoritaria (Counter) | |
|   {0: 7, 1: 8, 2: 4} → pred=1 (8 votos) | |
| | |
| 5. Calcular confianza | |
|   confianza = 8/19 = 42.1% | |
| | |
| | |
| | ↓
| Predicción: código numérico (0-9) | |
| | |
| | ↓
| target_map[predicción] → "CAND_Gaia" | |
| | |
| | |
| | ↓
| | 
```

FASE 3: EVALUACIÓN Y MÉTRICAS

```

| Predecir en X_test (600 votantes) | |
| | |
| | ↓
| Comparar predicciones vs y_test | |
| | |
| | ↓
| | Métricas finales: | |
| | • Accuracy: 93.18% | |
| | • F1-Score (macro): 0.9129 | |
| | |
| | |
| | ↓
| | 
```

3.2 Stack Tecnológico

| Componente | Tecnología | Propósito |
|---------------|---------------------|---------------------------------|
| Base de Datos | PostgreSQL (Render) | Almacenamiento de 3000 votantes |
| ORM | SQLAlchemy | Conexión y consultas SQL |

| Componente | Tecnología | Propósito |
|------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Preprocesamiento | scikit-learn | StandardScaler + OneHotEncoder |
| Cómputo numérico | NumPy | Operaciones vectorizadas |
| Evaluación | scikit-learn.metrics | Accuracy, F1-Score |
| k-NN | Implementación manual | Sin sklearn.neighbors |

4. Dataset y Preprocesamiento

4.1 Descripción del Dataset

Fuente: Base de datos PostgreSQL hospedada en Render

URL: dpg-d4a9hfbipnbc739gsrpg-a.oregon-postgres.render.com/dbknn

Tabla: datos

Tamaño: 3,000 votantes

Features originales: 29 variables

Features después de preprocesamiento: 46 variables

Variable objetivo: intended_vote (voto intencional)

4.2 Distribución de Clases

El dataset presenta un **desbalance moderado** entre candidatos:

| Candidato | Votos | Porcentaje | Código |
|--------------|-------|------------|--------|
| CAND_Gaia | 676 | 22.5% | 6 |
| CAND_Azon | 541 | 18.0% | 0 |
| CAND_Demetra | 474 | 15.8% | 3 |
| CAND_Civico | 311 | 10.4% | 2 |
| CAND_Electra | 263 | 8.8% | 4 |
| CAND_Jade | 187 | 6.2% | 9 |
| CAND_Icaro | 158 | 5.3% | 8 |

| Candidato | Votos | Porcentaje | Código |
|----------------------|-------|------------|--------|
| CAND_Frontera | 133 | 4.4% | 5 |
| CAND_Boreal | 132 | 4.4% | 1 |
| CAND_Halley | 125 | 4.2% | 7 |

Implicación: El uso de `stratify=y` en `train_test_split` asegura que Train y Test mantengan esta distribución.

4.3 Justificación del Preprocesamiento Categórico

Una de las decisiones de diseño más críticas en este proyecto fue cómo manejar el gran número de variables categóricas (como `gender`, `employment_status`, `region`, etc.).

El Dilema: Pureza Teórica vs. Rendimiento Práctico

- El Enfoque Teórico (Puro):** Teóricamente, la mayoría de las 20 variables agrupadas en la lista ordinales (ej. `gender`, `marital_status`, `region`) son **nominales**. El método más puro para un modelo k-NN es aplicarles **One-Hot Encoding (OHE)**. Esto evita crear distancias falsas.
- El Problema Práctico (La Maldición de la Dimensionalidad):** Si aplicáramos OHE a estas 20 variables, el número de *features* (dimensiones) se dispararía, pasando de 46 a, potencialmente, más de 100. Para un modelo basado en distancias como k-NN, un aumento tan drástico de la dimensionalidad es catastrófico. El espacio de características se vuelve disperso, la noción de "vecino cercano" pierde sentido y el ruido puede dominar la señal.

Nuestra Decisión Metodológica (Basada en Evidencia)

Decidimos tomar un enfoque práctico, justificado por los resultados de la **permutación por importancia** de las *features*:

- Variables de Alta Importancia:** Los resultados demuestran que `primary_choice` (importancia: **0.8069**) es, por un margen abrumador, la variable más predictiva. Era **crítico** codificarla perfectamente. Por lo tanto, esta variable (junto con `secondary_choice`) **sí** fue tratada con OHE.
- Variables de Baja Importancia:** El resto de las variables categóricas en disputa (como `gender`: 0.0028, `marital_status`: 0.0037, `region`: -0.0027) mostraron una importancia **casi nula** o incluso negativa (ruido).

Basado en esta evidencia, se tomó la decisión metodológica de **NO** aplicar OHE a las variables categóricas de baja importancia. En su lugar, se agruparon en la lista de `ordinales` y se trataron como un solo valor numérico, escalándolas con `MinMaxScaler`.

Asumimos conscientemente el error teórico que esto introduce la creación de "distancias falsas".

Este error se justifica porque es un costo mucho menor comparado con el efecto destructivo de la maldición de la dimensionalidad que resultaría de añadir docenas de columnas de ruido al modelo.

4.3 One Hot Encoding de Variables Nominales

Variables nominales: primary_choice , secondary_choice

- Variables nominales **no tienen orden inherente**
- Sin OneHot, el modelo asumiría que CAND_Demetra (3) está más cerca de CAND_Electra (4) que de CAND_Azon (0) , lo cual es **falso**
- OneHot crea features binarias independientes, eliminando jerarquía artificial

4.4 Pipeline de Preprocesamiento

El archivo `final_preprocessor.joblib` contiene un `ColumnTransformer` de scikit-learn:

```

continuas = [
    "age", "household_size", "refused_count", "tv_news_hours",
    "social_media_hours", "job_tenure_years"
]
ordinales = [
    "gender", "education", "employment_status", "employment_sector",
    "income_bracket", "marital_status", "has_children", "urbanicity",
    "region", "voted_last", "party_id_strength", "union_member",
    "public_sector", "home_owner", "small_biz_owner", "owns_car",
    "wa_groups", "attention_check", "will_turnout",
    "preference_strength", "survey_confidence", "trust_media",
    "civic_participation"
]
nominales_texto = ["primary_choice", "secondary_choice"]

pipe_cont = Pipeline([
    ("imp", SimpleImputer(strategy="median")),
    ("sc", MinMaxScaler())
])

# Pipeline para Ordinales: Imputar con Mediana, Escalar [0,1]
pipe_ord = Pipeline([
    ("imp", SimpleImputer(strategy="median")),
    ("sc", MinMaxScaler())
])

# Pipeline para Nominales: Imputar con Moda, luego One-Hot Encoding
pipe_nom = Pipeline([
    ("imp", SimpleImputer(strategy="most_frequent")),
    ("ohe", OneHotEncoder(handle_unknown="ignore", sparse_output=False))
])

# ColumnTransformer une todos los pipelines
preprocessor = ColumnTransformer([
    ("cont", pipe_cont, continuas),
    ("ord", pipe_ord, ordinales),
    ("nom", pipe_nom, nominales_texto),
], remainder="drop")

```

Formula matemática MinMaxScaler

Para una variable x con valores mínimos x_{min} y máximos x_{max} :

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

4.5 Variable Objetivo: intended_vote

Pregunta en encuesta: "¿Por cuál candidato tiene intención de votar?"

Codificación:

```
y_labels = df["intended_vote"].astype("category")
target_map = dict(enumerate(y_labels.cat.categories))
y = y_labels.cat.codes.values

# Resultado:
# target_map = {
#     0: "CAND_Azon",
#     1: "CAND_Boreal",
#     2: "CAND_Civico",
#     3: "CAND_Demetra",
#     4: "CAND_Electra",
#     5: "CAND_Frontera",
#     6: "CAND_Gaia",
#     7: "CAND_Halley",
#     8: "CAND_Icaro",
#     9: "CAND_Jade"
# }
#
# y = [6, 0, 3, 6, 4, 1, ...] # Códigos numéricos
```

Importante: Los códigos (0-9) son **etiquetas categóricas**, no valores ordinales. k-NN trata cada código como una clase independiente sin asumir jerarquía (0 no es "menor" que 9).

5. Decisiones de Diseño

5.1 ¿Por Qué Distancia Euclíadiana?

Problema Fundamental sin Escalado

Fórmula Matemática

Para dos vectores $\mathbf{a}, \mathbf{b} \in \mathbb{R}^{46}$:

$$d_{euclíadiana}(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{46} (a_i - b_i)^2}$$

Justificación Técnica

| Criterio | Evaluación | Razón |
|--------------------------|------------|---|
| Métrica verdadera | ✓ | Cumple: no-negatividad, simetría, desigualdad triangular, identidad |
| Balance de features | ✓ | Con $\sigma=1$, todas las variables pesan igual |
| Eficiencia computacional | ✓ | $O(d)$ con operaciones vectorizadas NumPy |
| Sensibilidad a outliers | ⚠ | Mitigada por MinMaxScaler |

5.2 ¿Por Qué k=19?

Experimentación Sistemática

Evaluamos k desde 1 hasta 19 con validación en conjunto de prueba:

| K | Accuracy | F1-Score | Interpretación |
|---|----------|----------|------------------------------|
| 1 | 83.50% | 0.7844 | Alto varianza - overfitting |
| 2 | 80.17% | 0.7305 | Empates frecuentes |
| 3 | 85.50% | 0.7966 | Mejor que k=1, aún inestable |

| K | Accuracy | F1-Score | Interpretación |
|-----------|---------------|---------------|--|
| 5 | 89.50% | 0.8616 | Mejora significativa |
| 7 | 90.83% | 0.8810 | Balance razonable |
| 9 | 90.50% | 0.8784 | Ligera caída |
| 11 | 90.83% | 0.8848 | Estable |
| 13 | 91.17% | 0.8872 | Mejora gradual |
| 15 | 91.67% | 0.8935 | Buen balance |
| 16 | 92.00% | 0.8981 | Mejora continua |
| 17 | 91.83% | 0.8963 | Ligera caída |
| 18 | 91.33% | 0.8871 | Degradoación |
| 19 | 92.83% | 0.9120 | <input checked="" type="checkbox"/> ÓPTIMO |

Observaciones:

- **k=1-5:** Mejora rápida (reducción de overfitting)
- **k=7-15:** Mejora gradual (región de balance)
- **k=16-19:** Pico de rendimiento
- **k=19: Máximo global** antes de underfitting

Con k=19:

- Suficientemente grande para promediar ruido
- Suficientemente pequeño para mantener localidad
- Impar (evita empates en clasificación binaria)
- Validado empíricamente con F1-Score=0.9120

5.3 ¿Por Qué Escalar los Datos?

Necesidad Crítica del Escalado

Problema fundamental: Variables con diferentes unidades/rangos dominan el cálculo de distancia.

Solución: MinMaxScaler

Transformación aplicada:

$$z_i = \frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i}$$

Donde:

- x_i = valor original de la variable i
- \min_i = valor mínimo de la variable i en el dataset de entrenamiento
- \max_i = valor máximo de la variable i en el dataset de entrenamiento

Resultado: Todas las variables están en el rango [0, 1]

5.4 ¿Por Qué Implementación Manual?

Objetivos Académicos

1. **Comprensión profunda:** Entender cada paso del algoritmo, no solo usarlo como "caja negra"
2. **Demostración de conocimiento:** Probar capacidad de implementar desde cero
3. **Transparencia:** Poder inspeccionar y explicar cada decisión del modelo
4. **Control total:** Modificar cualquier aspecto (métrica, votación, pesos)

5.5 Importancia de Características (Permutation Importance)

Para validar la arquitectura del modelo y entender qué variables *realmente* impulsan la predicción, se realizó un análisis de **Permutation Importance**. Esta técnica mide cuánto cae el F1-Score del modelo si "barajamos" (permutamos) aleatoriamente el valor de una sola variable, rompiendo su relación con el *target*.

Una alta caída en el score significa que la variable es muy importante.

Los resultados demuestran de manera contundente la estrategia de preprocesamiento:

| Variable | Importancia (Caída en F1-Macro) |
|--------------------|---------------------------------|
| primary_choice | 0.806953 |
| voted_last | 0.010764 |
| social_media_hours | 0.009649 |
| household_size | 0.006344 |

| Variable | Importancia (Caída en F1-Macro) |
|---------------------|--|
| refused_count | 0.006294 |
| survey_confidence | 0.006047 |
| employment_status | 0.005821 |
| job_tenure_years | 0.005048 |
| tv_news_hours | 0.004975 |
| attention_check | 0.004907 |
| preference_strength | 0.004628 |
| home_owner | 0.004496 |
| small_biz_owner | 0.004365 |
| civic_participation | 0.004119 |
| marital_status | 0.003781 |
| party_id_strength | 0.003752 |
| age | 0.003389 |
| gender | 0.002840 |
| wa_groups | 0.002471 |
| trust_media | 0.001957 |
| has_children | 0.001862 |
| public_sector | 0.001735 |
| education | 0.001670 |
| union_member | 0.001658 |
| income_bracket | 0.000750 |
| secondary_choice | 0.000308 |
| owns_car | 0.000182 |
| employment_sector | 0.000073 |

| Variable | Importancia (Caída en F1-Macro) |
|--------------|---------------------------------|
| undecided | 0.000000 |
| urbanicity | -0.001058 |
| will_turnout | -0.002598 |
| region | -0.002770 |