

grupo1_sem4_taller

February 24, 2026

0.0.1 Entorno de trabajo

```
[39]: import re
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

from pathlib import Path
from IPython.display import HTML, Markdown, display

from sklearn.base import clone
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.metrics import (
    RocCurveDisplay,
    accuracy_score,
    balanced_accuracy_score,
    classification_report,
    confusion_matrix,
    f1_score,
    make_scorer,
)
from sklearn.model_selection import StratifiedKFold, train_test_split
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
from sklearn.utils.class_weight import compute_class_weight

import shap
from lime.lime_tabular import LimeTabularExplainer
from tqdm.auto import tqdm
```

0.0.2 Configuración global y utilidades de exportación

```
[40]: RANDOM_STATE = 42
# None -> usa todo X_test para SHAP; un entero limita la muestra para acelerar ↴XAI
SHAP_SAMPLE_SIZE = 300
RESULTS_DIR = Path('../resultados')
RESULTS_DIR.mkdir(parents=True, exist_ok=True)
```

```

plot_counter = 1

def _next_results_file(suffix, extension='png'):
    global plot_counter
    safe_suffix = ''.join(ch if (ch.isalnum() or ch == '_') else '_' for ch in
    ↪suffix.lower()).strip('_')
    path = RESULTS_DIR / f'{plot_counter}_{safe_suffix}.{extension}'
    plot_counter += 1
    return path

def save_current_figure(suffix, fig=None):
    path = _next_results_file(suffix, 'png')
    (fig or plt.gcf()).savefig(path, bbox_inches='tight')
    print(f'Grafico exportado: {path}')
    return path

sns.set_theme(style='whitegrid')
plt.rcParams['figure.dpi'] = 120

def fit_random_forest_with_progress(X_train_local, y_train_local, *, ↪
    ↪n_estimators=200, desc='Entrenando Random Forest', **rf_kwargs):
    """Entrena un RandomForest incremental con barra de progreso visible en
    ↪notebook."""
    if n_estimators < 1:
        raise ValueError('n_estimators debe ser >= 1')

    # sklearn advierte contra warm_start con class_weight='balanced'.
    # Calculamos los pesos una sola vez sobre TODO y_train_local y pasamos un
    ↪dict fijo.
    class_weight_value = rf_kwargs.get('class_weight')
    if class_weight_value in {'balanced', 'balanced_subsample'}:
        y_arr = np.asarray(y_train_local)
        classes = np.unique(y_arr)
        weights = compute_class_weight(class_weight='balanced', ↪
        ↪classes=classes, y=y_arr)
        rf_kwargs = dict(rf_kwargs)
        rf_kwargs['class_weight'] = {cls: float(w) for cls, w in zip(classes, ↪
        ↪weights)}

    rf_model = RandomForestClassifier(
        n_estimators=1,
        warm_start=True,

```

```

        **rf_kwargs,
    )
    for n_trees in tqdm(range(1, n_estimators + 1), total=n_estimators,□
        desc=desc, ascii=True):
        rf_model.set_params(n_estimators=n_trees)
        rf_model.fit(X_train_local, y_train_local)
    return rf_model

```

0.1 1. Carga y comprensión del dataset

En esta sección se carga el dataset, se revisa su estructura general y se conserva una copia cruda (`df_raw`) para auditorías posteriores (calidad de datos y sesgos).

0.1.1 Carga inicial del dataset

```
[41]: df = pd.read_excel('../Dataset/citaschallenge.xlsx')
df_raw = df.copy()

print(f'Filas, columnas: {df.shape}')
print('\nTipos de datos iniciales:')
print(df.dtypes)

print('\nPrimeras filas:')
display(df.head())

print('\nResumen estadistico (incluye categoricas):')
display(df.describe(include='all').T)
```

Filas, columnas: (67650, 7)

Tipos de datos iniciales:

GENERO	str
EDAD	float64
ESPECIALIDAD	str
TIPO_AFILIACION	str
FECHA_CITA	datetime64[us]
id	int64
ESTAFINAL	int64
dtype:	object

Primeras filas:

	GENERO	EDAD	ESPECIALIDAD	TIPO_AFILIACION	FECHA_CITA	\
0	FEMENINO	41.0	ORTODONCIA	GOLD	2013-07-02 06:30:00	
1	FEMENINO	49.0	TERAPIA OCUPACIONAL	SILVER	2013-07-02 06:30:00	
2	FEMENINO	41.0	FISIOTERAPIA	GOLD	2013-07-02 06:30:00	
3	FEMENINO	49.0	FISIOTERAPIA	GOLD	2013-07-02 06:50:00	
4	FEMENINO	36.0	RADIOLOGIA	GOLD	2013-07-02 06:50:00	

	id	ESTAFINAL
0	9373	3
1	62884	2
2	72568	2
3	5733	1
4	22397	3

Resumen estadistico (incluye categoricas):

	count	unique	top	freq	\
GENERO	67650	2	MASCULINO	34346	
EDAD	67650.0	NaN	NaN	NaN	
ESPECIALIDAD	67650	32	FISIOTERAPIA	15136	
TIPO_AFILIACION	67650	3	SILVER	36396	
FECHA_CITA	67650	NaN	NaN	NaN	
id	67650.0	NaN	NaN	NaN	
ESTAFINAL	67650.0	NaN	NaN	NaN	

	mean	min	\
GENERO	NaN	NaN	
EDAD	38.699956	0.0	
ESPECIALIDAD	NaN	NaN	
TIPO_AFILIACION	NaN	NaN	
FECHA_CITA	2013-09-10 15:06:53.286917	2013-07-02 06:30:00	
id	43890.418182	1.0	
ESTAFINAL	2.010126	1.0	

	25%	50%	\
GENERO	NaN	NaN	
EDAD	29.0	38.0	
ESPECIALIDAD	NaN	NaN	
TIPO_AFILIACION	NaN	NaN	
FECHA_CITA	2013-08-05 14:00:00	2013-09-10 14:45:00	
id	22202.25	43809.5	
ESTAFINAL	2.0	2.0	

	75%	max	std
GENERO	NaN	NaN	NaN
EDAD	49.0	96.0	14.525066
ESPECIALIDAD	NaN	NaN	NaN
TIPO_AFILIACION	NaN	NaN	NaN
FECHA_CITA	2013-10-16 15:33:45	2013-11-21 18:40:00	NaN
id	65567.75	87877.0	25295.366353
ESTAFINAL	2.0	3.0	0.603249

0.2 2. Calidad de datos y analisis exploratorio

Se revisan nulos, duplicados, distribucion de clases, posibles outliers de edad y distribuciones relevantes para sustentar el modelado.

0.2.1 Calidad de datos: nulos, duplicados, rango de fechas y distribuciones

```
[42]: print('Valores nulos por columna: ')
print(df.isnull().sum())

print(f'\nCantidad de filas duplicadas: {df.duplicated().sum()}')

# Aseguramos formato datetime para auditoria temporal
df['FECHA_CITA'] = pd.to_datetime(df['FECHA_CITA'], errors='coerce')
print(f'\nRango FECHA_CITA: {df['FECHA_CITA'].min()} -> {df['FECHA_CITA'].max()}')

print(f"Registros con FECHA_CITA invalida tras parseo: {df['FECHA_CITA'].isna().sum()}")

# Distribucion del objetivo
class_counts = df['ESTAFINAL'].value_counts().sort_index()
class_pct = df['ESTAFINAL'].value_counts(normalize=True).sort_index().mul(100).round(2)
class_summary = pd.DataFrame({'conteo': class_counts, 'porcentaje': class_pct})
print('\nDistribucion de ESTAFINAL:')
display(class_summary)

plt.figure(figsize=(8, 4))
class_counts.plot(kind='bar', color='steelblue', title='Distribucion de clases (ESTAFINAL)')
plt.xlabel('Clase ESTAFINAL')
plt.ylabel('Cantidad de registros')
save_current_figure('calidad_distribucion_clases_estafinal')
plt.show()
plt.close()

# Outliers de EDAD por regla IQR
edad_q1 = df['EDAD'].quantile(0.25)
edad_q3 = df['EDAD'].quantile(0.75)
edad_iqr = edad_q3 - edad_q1
edad_low = edad_q1 - 1.5 * edad_iqr
edad_high = edad_q3 + 1.5 * edad_iqr
edad_outliers = df[(df['EDAD'] < edad_low) | (df['EDAD'] > edad_high)]
print(f'\nEDAD - IQR: Q1={edad_q1:.2f}, Q3={edad_q3:.2f}, limite inferior={edad_low:.2f}, limite superior={edad_high:.2f}')
print(f'Cantidad de posibles outliers de EDAD (IQR): {len(edad_outliers)}')
```

```

plt.figure(figsize=(10, 4))
sns.boxplot(data=df, x='ESTAFINAL', y='EDAD')
plt.title('EDAD por clase ESTAFINAL (control de dispersion/outliers)')
save_current_figure('calidad_boxplot_edad_por_estafinal')
plt.show()
plt.close()

# Top especialidades
especialidad_top = df['ESPECIALIDAD'].value_counts().head(10)
print('\nTop 10 especialidades por frecuencia:')
display(especialidad_top.to_frame('conteo'))

plt.figure(figsize=(12, 5))
especialidad_top.sort_values().plot(kind='barh', color='teal', title='Top 10 especialidades mas frecuentes')
plt.xlabel('Cantidad de citas')
save_current_figure('calidad_top_especialidades_frecuencia')
plt.show()
plt.close()

# Temporalidad de citas (mes)
citas_por_mes = df['FECHA_CITA'].dt.to_period('M').astype(str).value_counts().
    sort_index()
plt.figure(figsize=(12, 4))
citas_por_mes.plot(marker='o', linewidth=2, color='purple', title='Cantidad de citas por mes')
plt.xlabel('Mes')
plt.ylabel('Cantidad')
plt.xticks(rotation=45, ha='right')
save_current_figure('calidad_citas_por_mes')
plt.show()
plt.close()

# EDA original solicitado
sns.countplot(data=df, x='GENERO', hue='TIPO_AFILIACION')
plt.title('Distribucion por genero y tipo de afiliacion')
save_current_figure('eda_distribucion_genero_tipo_afiliacion')
plt.show()
plt.close()

sns.histplot(data=df, x='EDAD', hue='TIPO_AFILIACION', kde=True)
plt.title('Distribucion por edad y tipo de afiliacion')
save_current_figure('eda_distribucion_edad_tipo_afiliacion')
plt.show()
plt.close()

```

```

gold_by_gender = df[df['TIPO_AFILIACION'].astype(str).str.upper() == 'GOLD'].
    ↪groupby('GENERO').size()
total_by_gender = df.groupby('GENERO').size()
tasa_gold_by_gender = (gold_by_gender / total_by_gender * 100).round(2)
print('\nTasa de afiliacion GOLD por genero (%):')
print(tasa_gold_by_gender)

```

Valores nulos por columna:

GENERO	0
EDAD	0
ESPECIALIDAD	0
TIPO_AFILIACION	0
FECHA_CITA	0
id	0
ESTAFINAL	0

dtype: int64

Cantidad de filas duplicadas: 0

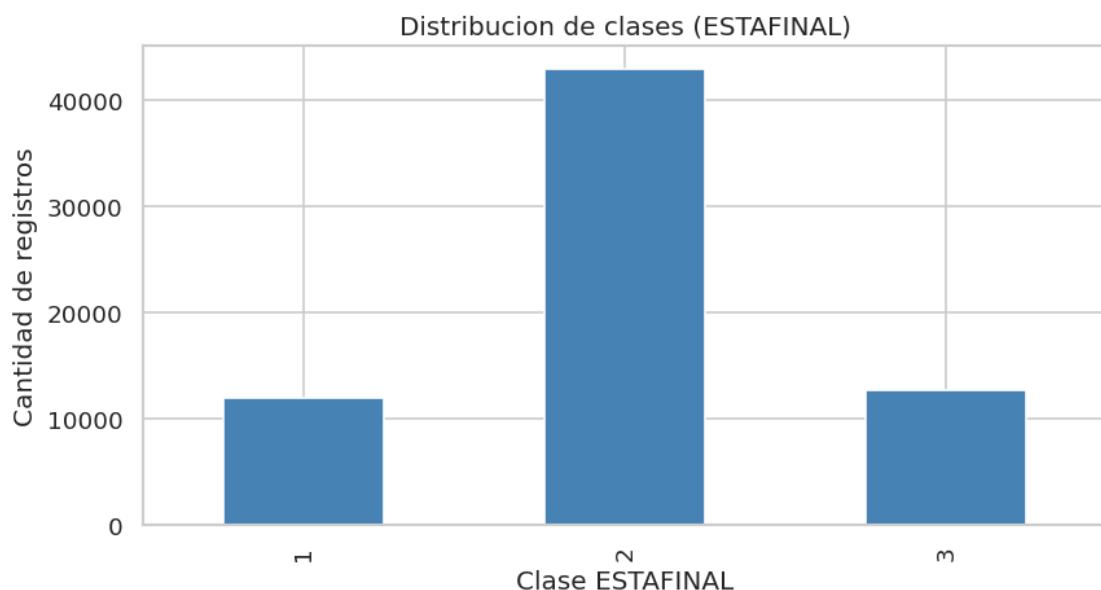
Rango FECHA_CITA: 2013-07-02 06:30:00 -> 2013-11-21 18:40:00

Registros con FECHA_CITA invalida tras parseo: 0

Distribucion de ESTAFINAL:

ESTAFINAL	conteo	porcentaje
1	11970	17.69
2	43025	63.60
3	12655	18.71

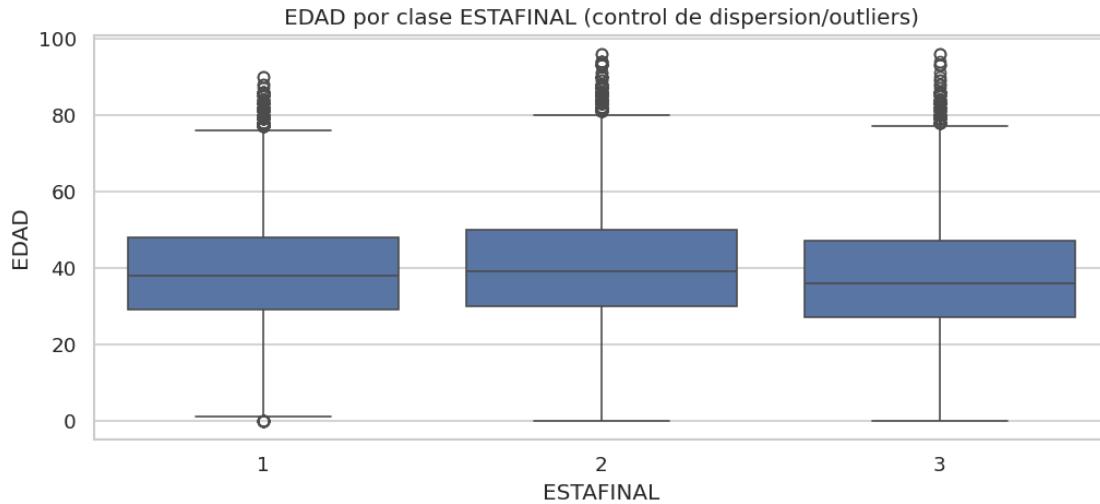
Grafico exportado: ../resultados/1_calidad_distribucion_clases_estafinal.png



EDAD - IQR: Q1=29.00, Q3=49.00, limite inferior=-1.00, limite superior=79.00

Cantidad de posibles outliers de EDAD (IQR): 393

Grafico exportado: ../resultados/2_calidad_boxplot_edad_por_estafinal.png



Top 10 especialidades por frecuencia:

ESPECIALIDAD	conteo
FISIOTERAPIA	15136
TERAPIA OCUPACIONAL	14546
MEDICINA GENERAL	6756
ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGIA	5306
CIRUGIA DE LA MANO	3859
ODONTOLOGIA	3484
FISIATRIA	2428
OPTOMETRIA	1543
DERMATOLOGIA	1432
GINECOLOGIA	1377

Grafico exportado: ../resultados/3_calidad_top_especialidades_frecuencia.png

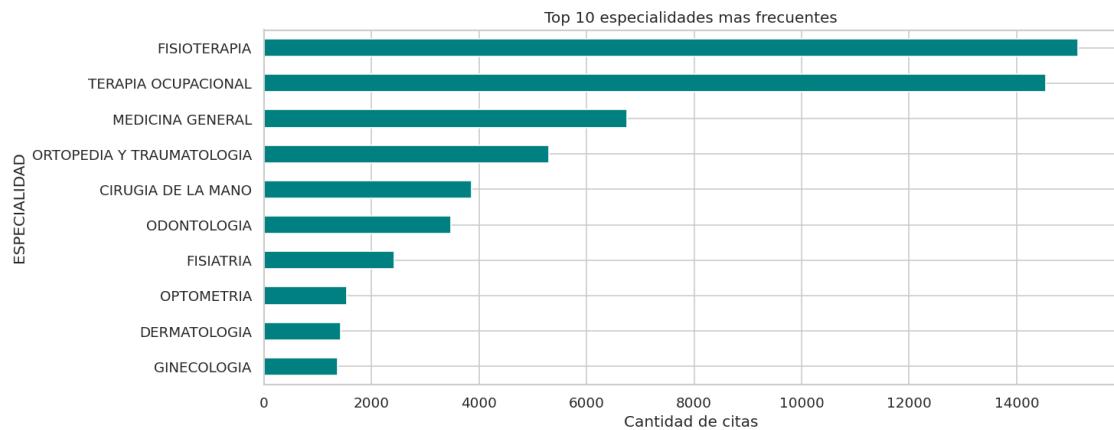


Grafico exportado: ../resultados/4_calidad_citas_por_mes.png



Grafico exportado: ../resultados/5_edad_distribucion_genero_tipo_afiliacion.png

Distribucion por genero y tipo de afiliacion

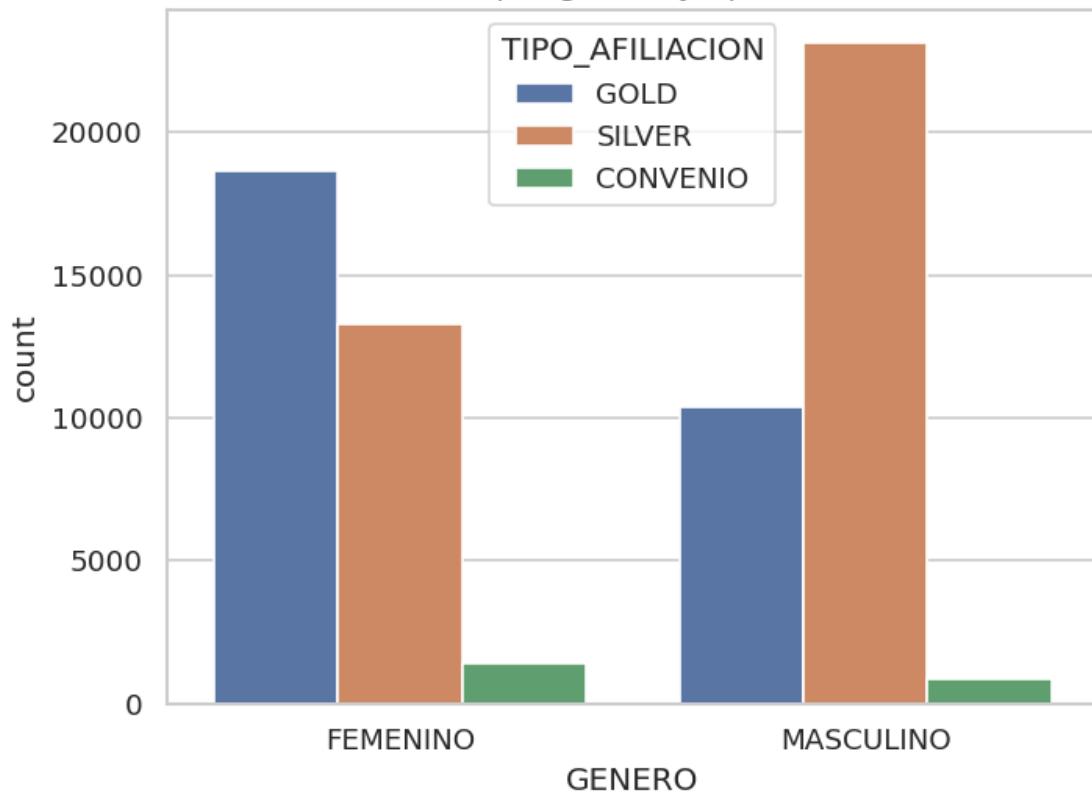
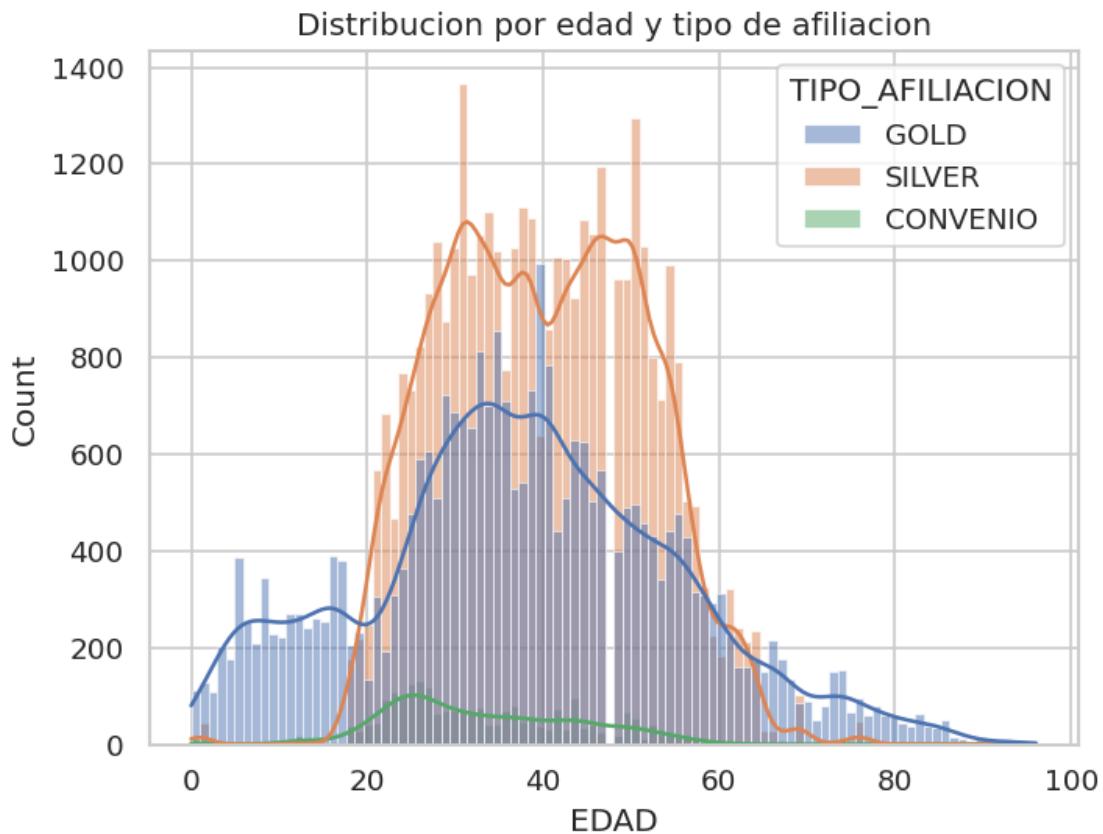


Grafico exportado: ../resultados/6_edad_distribucion_edad_tipo_afiliacion.png



Tasa de afiliacion GOLD por genero (%):

GENERO

FEMENINO	55.92
MASCULINO	30.17
dtype:	float64

0.3 3. Limpieza, transformación y partición de datos

Se limpian variables categóricas, se crean variables temporales y se divide el conjunto con estratificación por la variable objetivo para una evaluación mas estable.

0.3.1 Limpieza y preprocesamiento para modelado

Copias auxiliares para auditoria de sesgos (mantienen etiquetas originales)

```
[43]: df_model = df.copy()

# Mapeos categoricos
gender_map = {'FEMENINO': 0, 'MASCULINO': 1}
affiliation_map = {'CONVENIO': 1, 'SILVER': 2, 'GOLD': 3}
```

```

df_model['GENERO'] = df_model['GENERO'].astype(str).str.upper().map(gender_map)
df_model['TIPO_AFILIACION'] = df_model['TIPO_AFILIACION'].astype(str).str.
    ↪upper().map(affiliation_map)

if df_model['GENERO'].isnull().any():
    faltantes = sorted(df.loc[df_model['GENERO'].isnull(), 'GENERO'].
        ↪astype(str).unique())
    raise ValueError(f'Valores inesperados en GENERO tras mapeo: {faltantes}')

if df_model['TIPO_AFILIACION'].isnull().any():
    faltantes = sorted(df.loc[df_model['TIPO_AFILIACION'].isnull(), 'TIPO_AFILIACION'].
        ↪astype(str).unique())
    raise ValueError(f'Valores inesperados en TIPO_AFILIACION tras mapeo: {faltantes}')

# Variables temporales
df_model['MES'] = df_model['FECHA_CITA'].dt.month
df_model['DIA_SEMANA'] = df_model['FECHA_CITA'].dt.dayofweek

# Codificacion de ESPECIALIDAD
label_encoder_especialidad = LabelEncoder()
df_model['ESPECIALIDAD_ENCODED'] = label_encoder_especialidad.
    ↪fit_transform(df_model['ESPECIALIDAD'].astype(str))

# Tipos finales
df_model['GENERO'] = df_model['GENERO'].astype(int)
df_model['EDAD'] = df_model['EDAD'].astype(int)
df_model['TIPO_AFILIACION'] = df_model['TIPO_AFILIACION'].astype(int)
df_model['MES'] = df_model['MES'].astype(int)
df_model['DIA_SEMANA'] = df_model['DIA_SEMANA'].astype(int)

print('Tipos de datos luego de preprocesamiento:')
print(df_model.dtypes)

# Definicion de features y target para modelo base
features = ['GENERO', 'EDAD', 'ESPECIALIDAD_ENCODED', 'TIPO_AFILIACION', 'MES', 'DIA_SEMANA']
sensitive_features = ['GENERO', 'TIPO_AFILIACION']
X = df_model[features].copy()
y = df_model['ESTAFINAL'].copy()

# Split estratificado para mayor estabilidad en clases
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X,
    y,
)

```

```

    test_size=0.2,
    random_state=RANDOM_STATE,
    stratify=y,
)

print(f'\nShapes -> X_train: {X_train.shape}, X_test: {X_test.shape}')
print('Distribucion de clases en train (%):')
print((y_train.value_counts(normalize=True).sort_index() * 100).round(2))
print('Distribucion de clases en test (%):')
print((y_test.value_counts(normalize=True).sort_index() * 100).round(2))

# Contexto original del test para auditorias posteriores (sesgos, ↴interpretacion)
test_context = df_raw.loc[X_test.index, ['GENERO', 'EDAD', 'ESPECIALIDAD', ↴
                                         'TIPO_AFILIACION', 'FECHA_CITA']].copy()

```

Tipos de datos luego de preprocesamiento:

GENERO	int64
EDAD	int64
ESPECIALIDAD	str
TIPO_AFILIACION	int64
FECHA_CITA	datetime64[us]
id	int64
ESTAFINAL	int64
MES	int64
DIA_SEMANA	int64
ESPECIALIDAD_ENCODED	int64
dtype: object	

Shapes -> X_train: (54120, 6), X_test: (13530, 6)

Distribucion de clases en train (%):

ESTAFINAL

1	17.69
2	63.60
3	18.71

Name: proportion, dtype: float64

Distribucion de clases en test (%):

ESTAFINAL

1	17.69
2	63.60
3	18.71

Name: proportion, dtype: float64

0.4 4. Modelo supervisado base (Random Forest) y evaluación

Se entrena un modelo supervisado (Random Forest) y se reportan métricas de holdout, matriz de confusión, curvas ROC multiclas y validación cruzada para estabilidad.

0.4.1 Entrenamiento del modelo base y evaluación holdout

```
[44]: model = fit_random_forest_with_progress(  
        X_train,  
        y_train,  
        n_estimators=200,  
        desc='Entrenamiento modelo base (RF)',  
        random_state=RANDOM_STATE,  
        n_jobs=-1,  
)  
  
y_pred = model.predict(X_test)  
y_pred_proba = model.predict_proba(X_test)  
classes = sorted(y_test.unique())  
  
baseline_metrics = {  
    'accuracy': accuracy_score(y_test, y_pred),  
    'f1_macro': f1_score(y_test, y_pred, average='macro', zero_division=0),  
    'balanced_accuracy': balanced_accuracy_score(y_test, y_pred),  
}  
  
baseline_metrics_df = pd.DataFrame(  
    {'metrica': list(baseline_metrics.keys()), 'valor': list(baseline_metrics.  
        values())}  
)  
print('Metricas holdout (modelo base):')  
display(baseline_metrics_df)  
  
print('\nClassification report (holdout):')  
print(classification_report(y_test, y_pred, zero_division=0))  
  
# Importancia de variables del modelo  
feature_importances = pd.Series(model.feature_importances_, index=features).  
    sort_values(ascending=True)  
plt.figure(figsize=(10, 6))  
feature_importances.plot(kind='barh', color='cornflowerblue',  
    title='Importancia de caracteristicas (Random Forest)')  
plt.xlabel('Importancia')  
save_current_figure('modelo_importancia_caracteristicas_random_forest')  
plt.show()  
plt.close()  
  
# Matriz de confusión  
cm = confusion_matrix(y_test, y_pred)  
plt.figure(figsize=(8, 6))  
sns.heatmap(cm, annot=True, fmt='d', cmap='Blues')  
plt.xlabel('Predicción')
```

```

plt.ylabel('Valor real')
plt.title('Matriz de confusión - modelo base')
save_current_figure('modelo_matriz_confusion_base')
plt.show()
plt.close()

# Curvas ROC OVR multiclas
plt.figure(figsize=(10, 8))
for i, class_id in enumerate(classes):
    y_test_binary = (y_test == class_id)
    RocCurveDisplay.from_predictions(
        y_test_binary,
        y_pred_proba[:, i],
        name=f'ROC clase {class_id}',
        ax=plt.gca(),
        plot_chance_level=(i == 0),
    )
plt.title('Curvas ROC multiclas (One-vs-Rest) - modelo base')
save_current_figure('modelo_curvas_roc_multiclas_ovr_base')
plt.show()
plt.close()

# Gráfico resumen de métricas holdout
plt.figure(figsize=(8, 4))
sns.barplot(data=baseline_metrics_df, x='metrica', y='valor', palette='Set2')
plt.ylim(0, 1)
plt.title('Métricas holdout - modelo base')
plt.ylabel('Valor')
for idx, row in baseline_metrics_df.reset_index(drop=True).iterrows():
    plt.text(idx, row['valor'] + 0.02, f'{row["valor"]:.3f}', ha='center', va='bottom')
save_current_figure('modelo_métricas_holdout_base')
plt.show()
plt.close()

```

Entrenamiento modelo base (RF): 0% | 0/200 [00:00<?, ?it/s]

Métricas holdout (modelo base):

	metrica	valor
0	accuracy	0.597635
1	f1_macro	0.415984
2	balanced_accuracy	0.412809

Classification report (holdout):

	precision	recall	f1-score	support
1	0.25	0.15	0.19	2394

2	0.68	0.82	0.75	8605
3	0.38	0.27	0.31	2531
accuracy			0.60	13530
macro avg	0.44	0.41	0.42	13530
weighted avg	0.55	0.60	0.57	13530

Grafico exportado:

./resultados/7_modelo_importancia_caracteristicas_random_forest.png

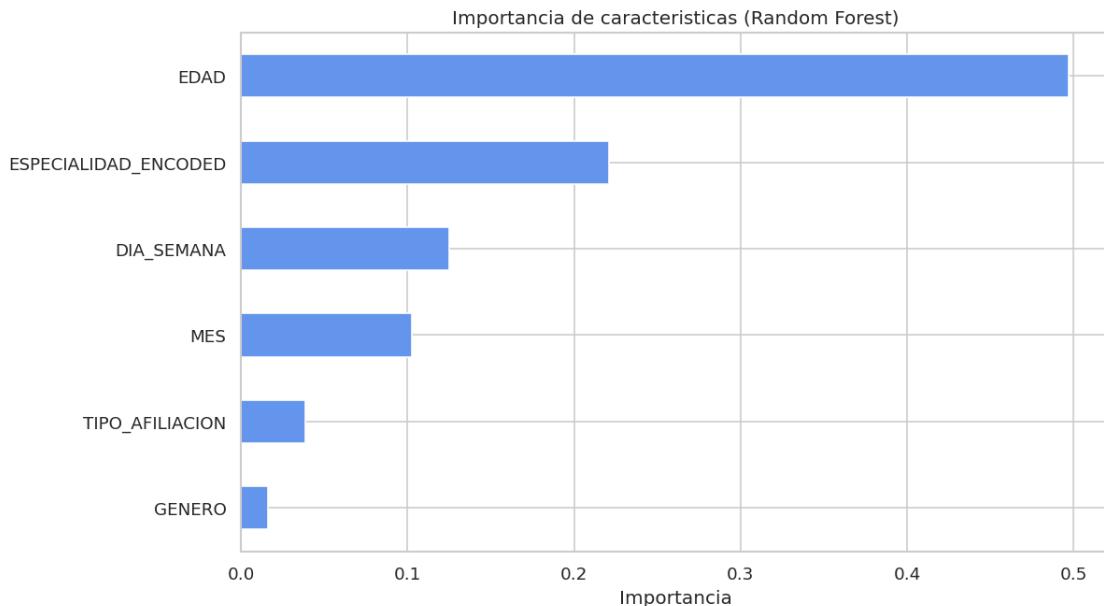


Grafico exportado: ./resultados/8_modelo_matriz_confusion_base.png

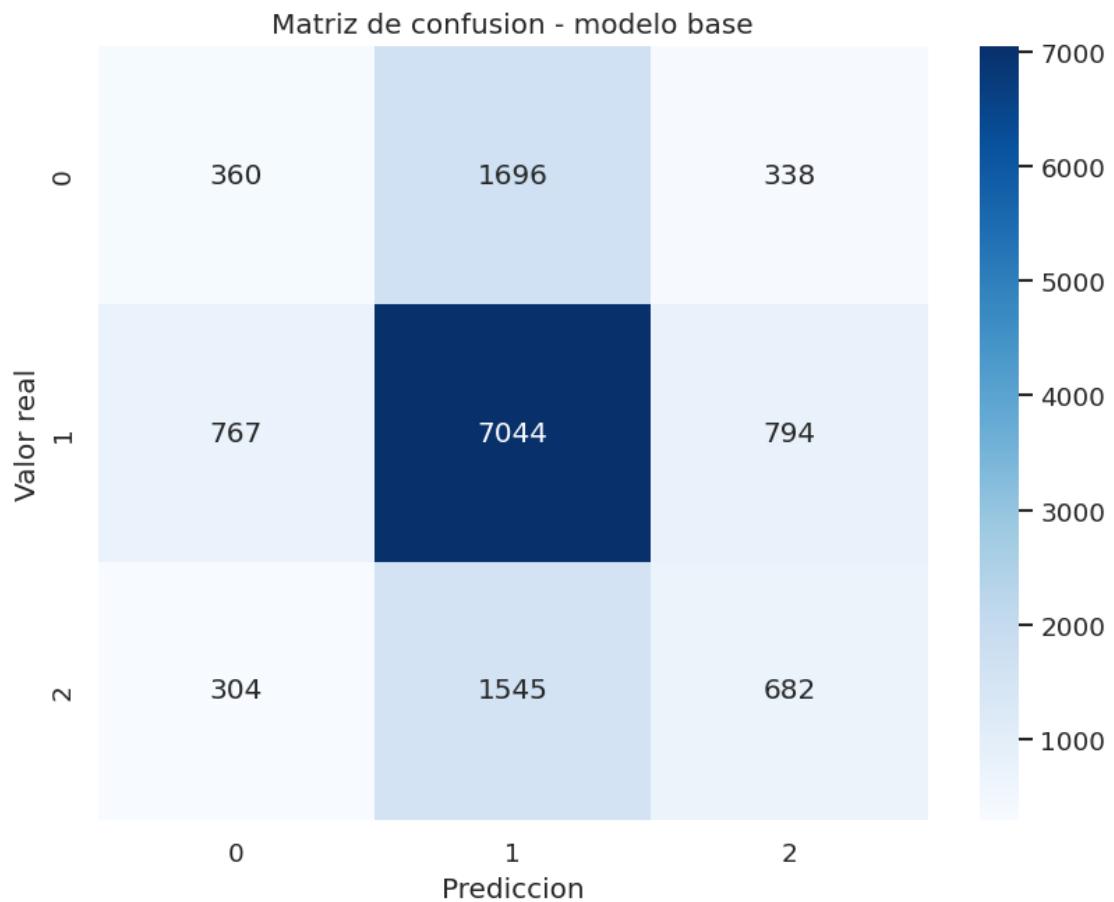


Grafico exportado: ./resultados/9_modelo_curvas_roc_multiclasa_ovr_base.png

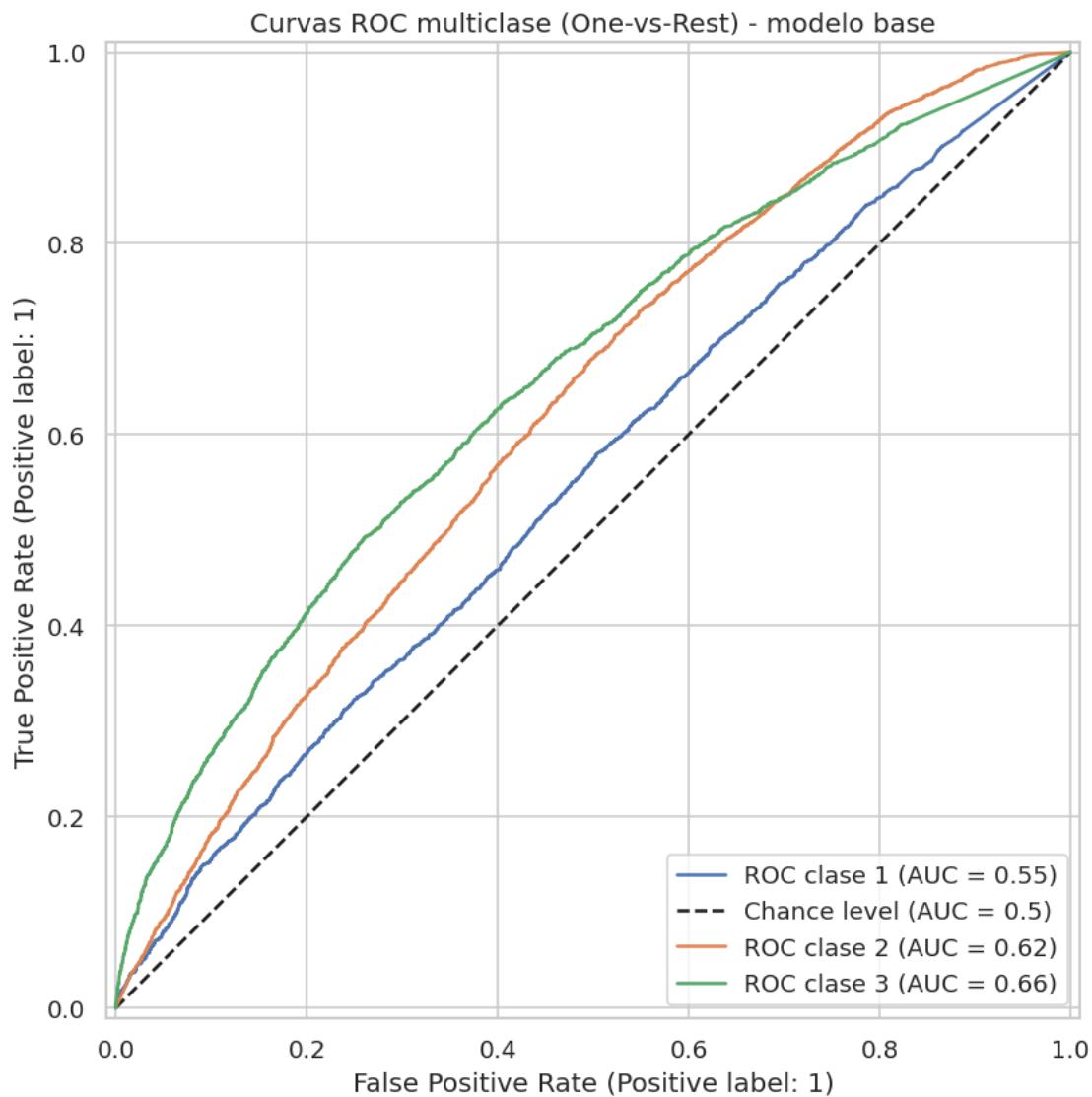
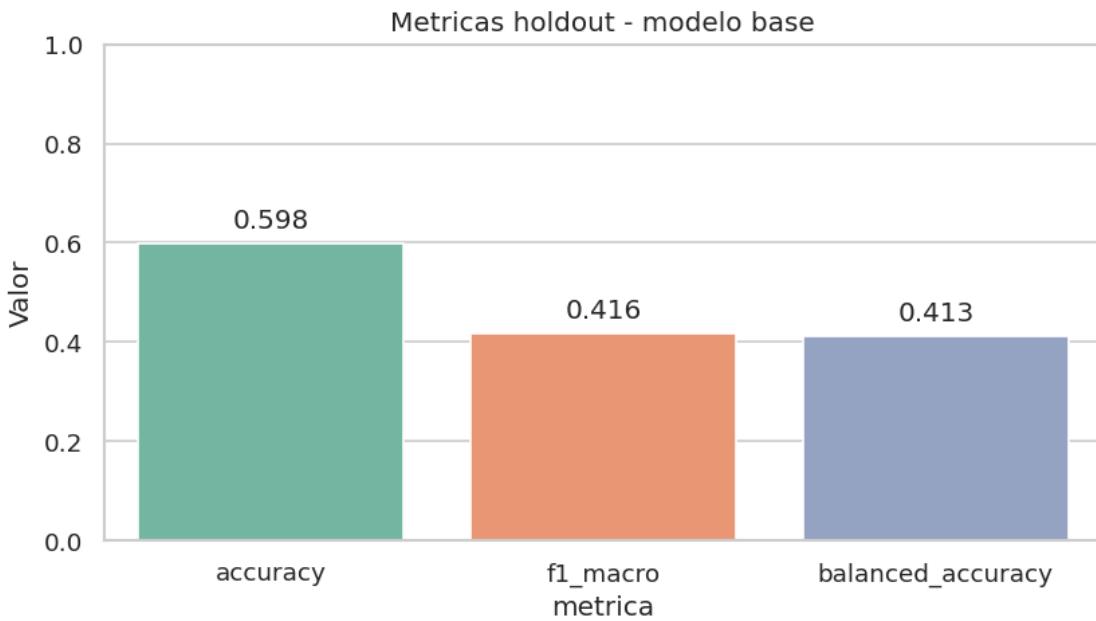


Grafico exportado: ../resultados/10_modelo_metricas_holdout_base.png

/tmp/ipykernel_42915/3990638707.py:67: FutureWarning:

Passing `palette` without assigning `hue` is deprecated and will be removed in v0.14.0. Assign the `x` variable to `hue` and set `legend=False` for the same effect.

```
sns.barplot(data=baseline_metrics_df, x='metrica', y='valor', palette='Set2')
```



0.4.2 Validación cruzada (estabilidad del modelo)

```
[45]: cv = StratifiedKFold(n_splits=5, shuffle=True, random_state=RANDOM_STATE)
scoring = {
    'accuracy': 'accuracy',
    'f1_macro': make_scorer(f1_score, average='macro', zero_division=0),
    'balanced_accuracy': make_scorer(balanced_accuracy_score),
}

cv_estimator = RandomForestClassifier(n_estimators=200, random_state=RANDOM_STATE, n_jobs=-1)
cv_rows = []

for fold_idx, (train_idx, val_idx) in enumerate(
    tqdm(cv.split(X, y), total=cv.get_n_splits(), desc='Validacion cruzada'),
    start=1,
):
    X_fold_train, X_fold_val = X.iloc[train_idx], X.iloc[val_idx]
    y_fold_train, y_fold_val = y.iloc[train_idx], y.iloc[val_idx]

    fold_model = clone(cv_estimator)
    fold_model.fit(X_fold_train, y_fold_train)
    y_fold_pred = fold_model.predict(X_fold_val)

    cv_rows.append({
```

```

        'fold': fold_idx,
        'accuracy': accuracy_score(y_fold_val, y_fold_pred),
        'f1_macro': f1_score(y_fold_val, y_fold_pred, average='macro', □
        ↪zero_division=0),
        'balanced_accuracy': balanced_accuracy_score(y_fold_val, y_fold_pred),
    })

cv_folds_df = pd.DataFrame(cv_rows)
cv_summary_df = pd.DataFrame({
    'metrica': ['accuracy', 'f1_macro', 'balanced_accuracy'],
    'media': [cv_folds_df['accuracy'].mean(), cv_folds_df['f1_macro'].mean(), □
    ↪cv_folds_df['balanced_accuracy'].mean()],
    'desv_std': [cv_folds_df['accuracy'].std(ddof=0), cv_folds_df['f1_macro'].□
    ↪std(ddof=0), cv_folds_df['balanced_accuracy'].std(ddof=0)],
})

```

print('Metricas por fold (validacion cruzada 5-fold):')

```
display(cv_folds_df)
```

print('Resumen validacion cruzada (5-fold):')

```
display(cv_summary_df)
```

```

plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.bar(cv_summary_df['metrica'], cv_summary_df['media'], □
    ↪yerr=cv_summary_df['desv_std'], capszie=4, color=['#4C78A8', '#F58518', □
    ↪'#54A24B'])
plt.ylim(0, 1)
plt.title('Validacion cruzada (5-fold): media y desviacion estandar')
plt.ylabel('Valor')
save_current_figure('modelo_base_validacion_cruzada_resumen')
plt.show()
plt.close()

```

Validacion cruzada (folds): 0% | 0/5 [00:00<?, ?it/s]

Metricas por fold (validacion cruzada 5-fold):

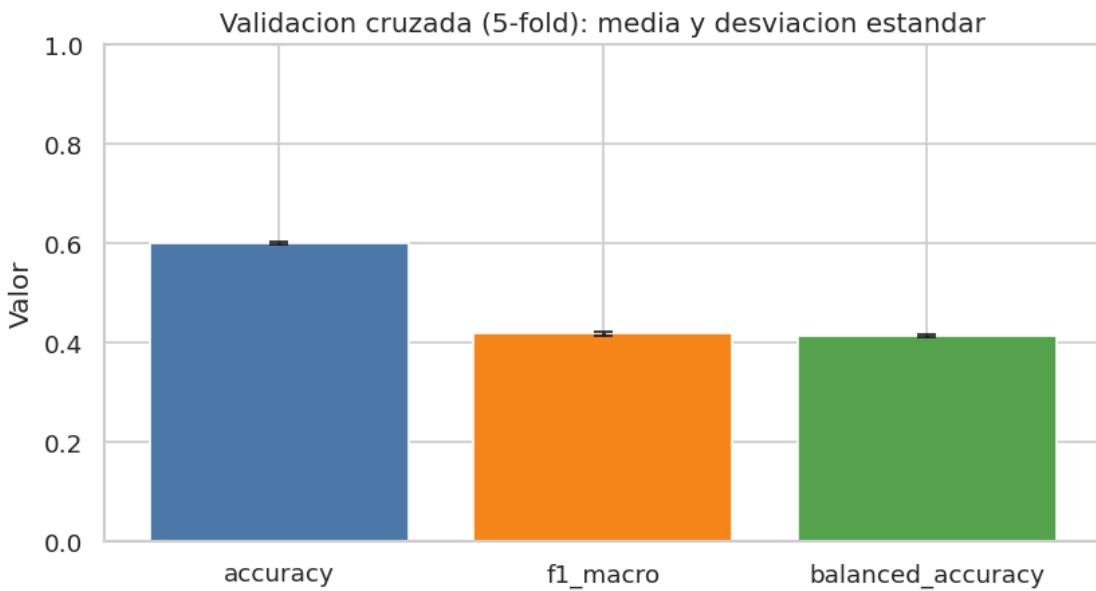
	fold	accuracy	f1_macro	balanced_accuracy
0	1	0.599630	0.413422	0.410876
1	2	0.602661	0.423264	0.418371
2	3	0.603991	0.418819	0.415616
3	4	0.596083	0.413706	0.410624
4	5	0.600665	0.420081	0.416576

Resumen validacion cruzada (5-fold):

	metrica	media	desv_std
0	accuracy	0.600606	0.002724
1	f1_macro	0.417858	0.003795

```
2 balanced_accuracy 0.414412 0.003120
```

```
Grafico exportado: ./resultados/11_modelo_base_validacion_cruzada_resumen.png
```



0.5 5. Explicabilidad del modelo (XAI): SHAP y LIME

Se aplican dos técnicas XAI (SHAP y LIME) para cubrir explicabilidad global, local y comparación entre técnicas sobre ejemplos concretos.

Nota: el modelo se entrena con todo el conjunto de entrenamiento (`X_train`). Solo SHAP usa una muestra de hasta 300 registros de `X_test` para acelerar la visualización; esto no reduce el entrenamiento del modelo.

0.5.1 SHAP: explicabilidad global y local del modelo base (target = ESTAFINAL)

Muestreo para acelerar SHAP sin perder representatividad visual.

SHAP local (multiclasa): la explicación del ejemplo individual se calcula para la **clase predicha por el modelo** (no para una clase elegida arbitrariamente).

```
[46]: if SHAP_SAMPLE_SIZE is None:  
    n_shap = len(X_test)  
else:  
    n_shap = min(int(SHAP_SAMPLE_SIZE), len(X_test))  
    if n_shap < 1:  
        raise ValueError('SHAP_SAMPLE_SIZE debe ser None o un entero >= 1')  
  
X_shap_sample = X_test.sample(n=n_shap, random_state=RANDOM_STATE)  
print(f'SHAP_SAMPLE_SIZE efectivo: {n_shap} de {len(X_test)} registros de  
    X_test')
```

```

explainer_shap = shap.TreeExplainer(model)
shap_values = explainer_shap.shap_values(X_shap_sample)

def shap_global_mean_abs(shap_values_obj):
    if isinstance(shap_values_obj, list):
        return np.mean([np.abs(v).mean(axis=0) for v in shap_values_obj],axis=0)
    arr = np.array(shap_values_obj)
    if arr.ndim == 3:
        # Puede venir como (n_samples, n_features, n_classes)
        return np.abs(arr).mean(axis=(0, 2))
    return np.abs(arr).mean(axis=0)

def shap_local_for_class(shap_values_obj, row_position, pred_class, model_classes):
    if isinstance(shap_values_obj, list):
        class_idx_local = list(model_classes).index(pred_class)
        return shap_values_obj[class_idx_local][row_position], class_idx_local
    arr = np.array(shap_values_obj)
    if arr.ndim == 3:
        class_idx_local = list(model_classes).index(pred_class)
        return arr[row_position, :, class_idx_local], class_idx_local
    return arr[row_position, :], None

shap_importance = pd.Series(shap_global_mean_abs(shap_values), index=X_shap_sample.columns).sort_values(ascending=False)
print('Top 10 SHAP global (mean abs):')
print(shap_importance.head(10))

plt.figure(figsize=(10, 6))
shap_importance.head(15).sort_values().plot(kind='barh', color='slateblue', title='SHAP global: importancia media absoluta (ESTAFINAL)')
plt.xlabel('mean(|SHAP|)')
save_current_figure('xai_shap_importancia_global_estafinal')
plt.show()
plt.close()

# Explicacion local SHAP para 1 ejemplo del conjunto de test (mismo ejemplo que se usara en comparacion con LIME)
xai_example_pos = 0
xai_example_x = X_test.iloc[[xai_example_pos]].copy()
xai_example_index = X_test.index[xai_example_pos]
pred_xai_example = model.predict(xai_example_x)[0]

```

```

pred_xai_example_class_idx = list(model.classes_).index(pred_xai_example)
print(
    f'SHAP local interpreta la clase predicha del ejemplo: '
    f'{clase=[pred_xai_example]} ' f'(indice en model.'
    f'classes_={pred_xai_example_class_idx})'
)

# SHAP local para el ejemplo de comparacion
shap_values_example = explainer_shap.shap_values(xai_example_x)
shap_local_values_example, shap_class_idx_example = shap_local_for_class(shap_values_example, 0, pred_xai_example, model.
    classes_)
shap_local_series_example = pd.Series(shap_local_values_example, index=X_test.
    columns)
shap_local_ranked_example = shap_local_series_example.
    reindex(shap_local_series_example.abs().sort_values(ascending=False).index)
print(f'\nPrediccion del ejemplo SHAP local (indice original '
    f'{xai_example_index}): {pred_xai_example}')
print('La explicacion SHAP local mostrada corresponde a esa clase predicha.')
print('Top SHAP local (ejemplo de comparacion):')
print(shap_local_ranked_example.head(10))

# Render local (force plot en matplotlib) y guardado PNG
expected_value = explainer_shap.expected_value
if isinstance(expected_value, (list, np.ndarray)) and shap_class_idx_example is not None:
    expected_for_plot = np.array(expected_value)[shap_class_idx_example]
else:
    expected_for_plot = expected_value

try:
    shap.force_plot(expected_for_plot, shap_local_values_example, xai_example_x.
        iloc[0], matplotlib=True, show=False)
    fig = plt.gcf()
    save_current_figure('xai_shap_local_force_estafinal_ejemplo_comparacion', fig)
    plt.show()
    plt.close(fig)
except Exception as e:
    print('No se pudo renderizar force_plot SHAP en este entorno:', repr(e))
    try:
        shap.plots._waterfall.waterfall_legacy(
            expected_value=expected_for_plot,
            shap_values=shap_local_values_example,
            feature_names=X_test.columns.tolist(),
            features=xai_example_x.iloc[0],

```

```

        max_display=15,
        show=False,
    )
    fig = plt.gcf()
    □
    ↪save_current_figure('xai_shap_local_waterfall_estafinal_ejemplo_comparacion',□
    ↪fig=fig)
    plt.show()
    plt.close(fig)
except Exception as e2:
    print('Tampoco fue posible renderizar waterfall SHAP:', repr(e2))

```

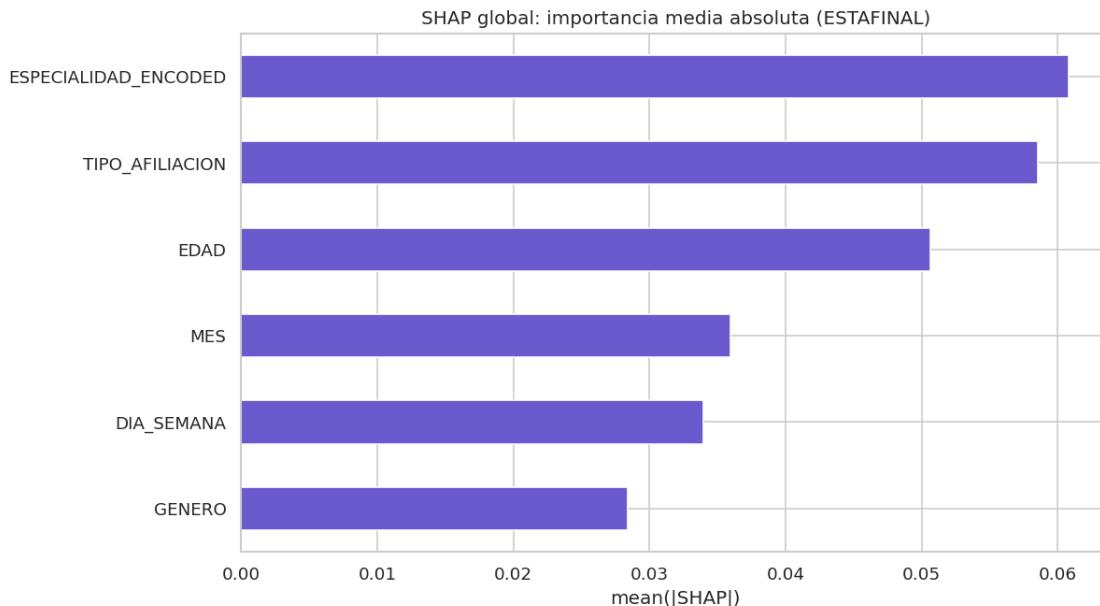
SHAP_SAMPLE_SIZE efectivo: 300 de 13530 registros de X_test

Top 10 SHAP global (mean abs):

ESPECIALIDAD_ENCODED	0.060785
TIPO_AFILIACION	0.058506
EDAD	0.050660
MES	0.035914
DIA_SEMANA	0.033963
GENERO	0.028426

dtype: float64

Grafico exportado: ./resultados/12_xai_shap_importancia_global_estafinal.png



SHAP local interpreta la clase predicha del ejemplo: clase=2 (indice en model.classes_=1)

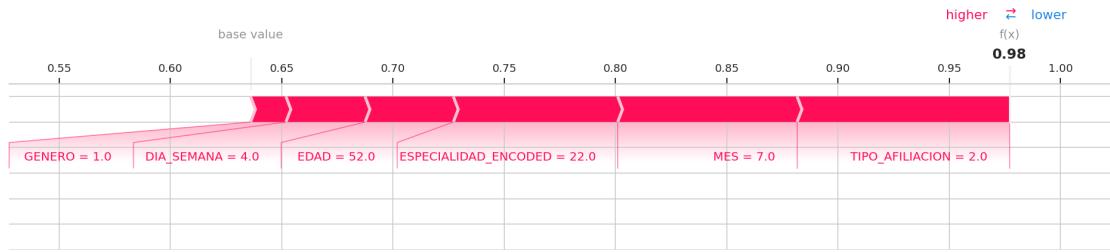
Prediccion del ejemplo SHAP local (indice original 8615): 2

La explicacion SHAP local mostrada corresponde a esa clase predicha.

```

Top SHAP local (ejemplo de comparacion):
TIPO_AFILIACION      0.095467
MES                   0.080626
ESPECIALIDAD_ENCODED 0.073842
EDAD                  0.039673
DIA_SEMANA            0.035560
GENERO                0.015892
dtype: float64
Grafico exportado:
./resultados/13_xai_shap_local_force_estafinal_ejemplo_comparacion.png

```



0.5.2 LIME: explicabilidad local del modelo base (1-2 ejemplos) y exportacion PNG

```

[47]: feature_names = X_train.columns.tolist()

def predict_fn_lime(x):
    # LIME entrega np.array; reconstruimos DataFrame para conservar nombres y
    # evitar warnings
    x_df = pd.DataFrame(x, columns=feature_names)
    return model.predict_proba(x_df)

lime_explainer = LimeTabularExplainer(
    training_data=X_train.to_numpy(),
    feature_names=feature_names,
    class_names=[str(c) for c in model.classes_],
    mode='classification',
    discretize_continuous=True,
    random_state=RANDOM_STATE,
)

# Dos ejemplos concretos; el primero coincide con el ejemplo de comparacion
# SHAP/LIME (posicion 0)
lime_positions = [0, min(1, len(X_test) - 1)]
lime_explanations = []

```

```

for pos in lime_positions:
    exp = lime_explainer.explain_instance(
        data_row=X_test.iloc[pos].to_numpy(),
        predict_fn=predict_fn_lime,
        num_features=10,
    )
    lime_explanations.append(exp)

fig = exp.as_pyplot_figure()
plt.title(f'LIME (ESTAFINAL) - ejemplo pos_test {pos} / idx {X_test.
    ↪index[pos]}')
save_current_figure(f'xai_lime_estafinal_ejemplo_pos_{pos}', fig=fig)
plt.show()
plt.close(fig)

# Mantener visualizacion HTML en notebook (interactiva)
display(HTML(lime_explanations[0].as_html()))
print('Top LIME (ejemplo de comparacion):')
print(lime_explanations[0].as_list())

```

Grafico exportado: ../resultados/14_xai_lime_estafinal_ejemplo_pos_0.png

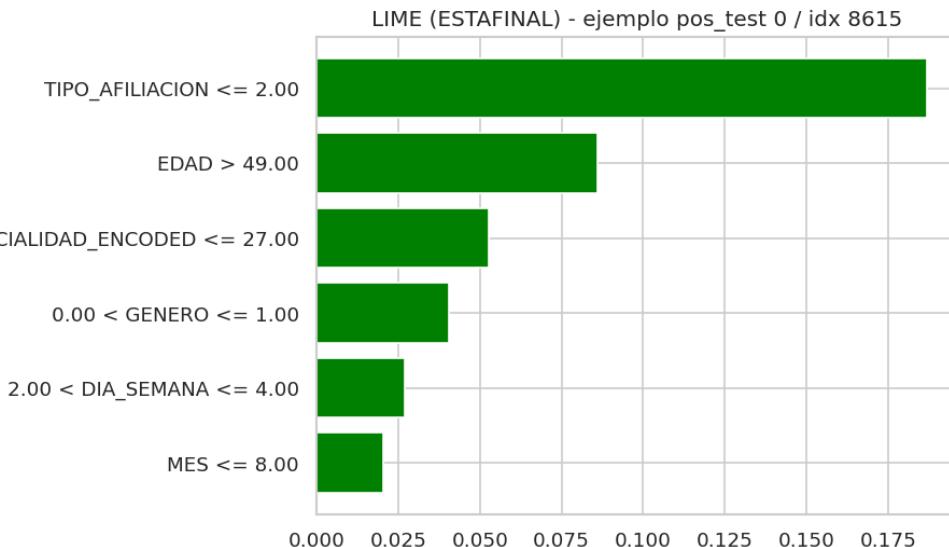
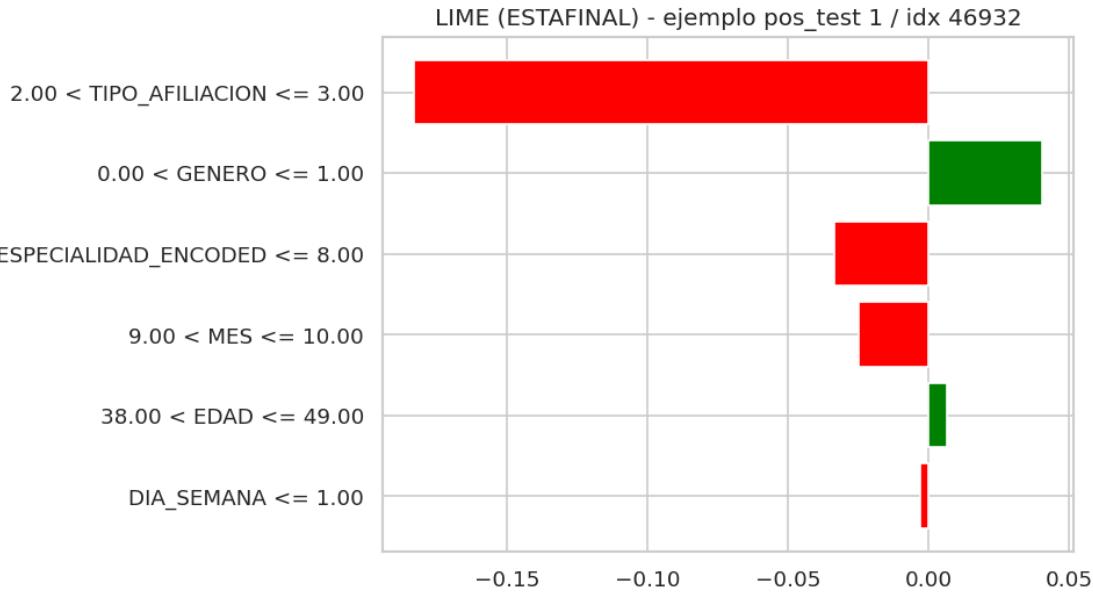


Grafico exportado: ../resultados/15_xai_lime_estafinal_ejemplo_pos_1.png



```
<IPython.core.display.HTML object>
```

```
Top LIME (ejemplo de comparacion):
[('TIPO_AFILIACION <= 2.00', 0.18677287161172207), ('EDAD > 49.00',
0.08606106001366455), ('13.00 < ESPECIALIDAD_ENCODED <= 27.00',
0.05271516317779594), ('0.00 < GENERO <= 1.00', 0.04069417737448595), ('2.00 <
DIA_SEMANA <= 4.00', 0.026909988927825285), ('MES <= 8.00',
0.020452404410655843)]
```

0.5.3 Comparación visual entre SHAP y LIME para el mismo ejemplo individual

```
[48]: lime_weights_raw = pd.Series(dict(lime_explanations[0].as_list()), dtype=float)
shap_local_signed = shap_local_ranked_example.copy()

# Subplot comparativo: SHAP local vs LIME local (mismo ejemplo)
fig, axes = plt.subplots(1, 2, figsize=(16, 6))

shap_plot_series = shap_local_signed.head(10).sort_values()
shap_plot_series.plot(kind='barh', ax=axes[0], color=['#2ca02c' if v >= 0 else
    '#d62728' for v in shap_plot_series])
axes[0].set_title('SHAP local (top 10, ejemplo comparacion)')
axes[0].set_xlabel('Contribucion SHAP')

lime_plot_series = lime_weights_raw.reindex(lime_weights_raw.abs() .
    sort_values(ascending=False).index).head(10).sort_values()
lime_plot_series.plot(kind='barh', ax=axes[1], color=['#2ca02c' if v >= 0 else
    '#d62728' for v in lime_plot_series])
axes[1].set_title('LIME local (top 10, mismo ejemplo)')
```

```

axes[1].set_xlabel('Peso LIME')

plt.tight_layout()
save_current_figure('xai_comparacion_visual_shap_vs_lime_mismo_ejemplo',□
    ↪fig=fig)
plt.show()
plt.close(fig)

# Comparacion de solapamiento de variables (mapeando reglas LIME a nombre de□
    ↪feature)
def infer_lime_feature_name(rule_text, available_features):
    for feat in available_features:
        if feat in str(rule_text):
            return feat
    return str(rule_text)

lime_feature_agg = (
    pd.DataFrame({'rule': lime_weights_raw.index.astype(str), 'weight':□
    ↪lime_weights_raw.values})
    .assign(feature=lambda d: d['rule'].apply(lambda r:□
    ↪infer_lime_feature_name(r, feature_names)))
    .groupby('feature', as_index=True)[['weight']]
    .sum()
)

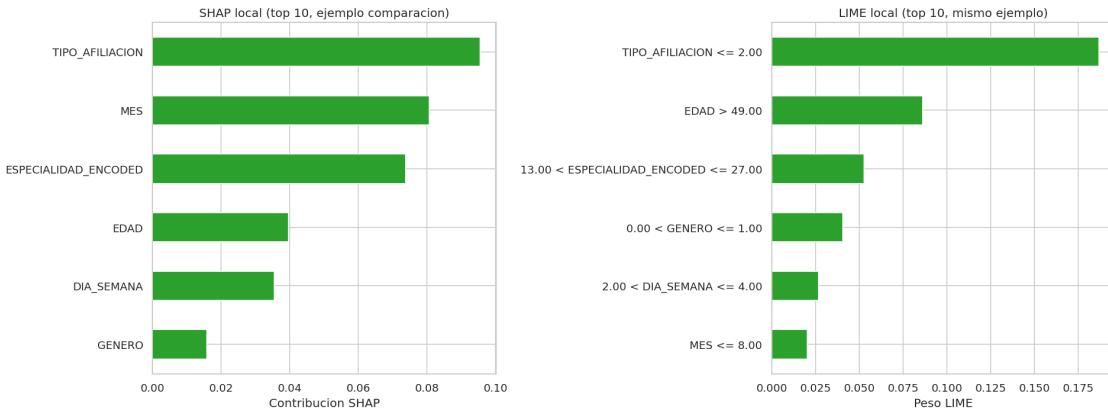
shap_top_features = list(shap_local_signed.abs().sort_values(ascending=False).□
    ↪head(5).index)
lime_top_features = list(lime_feature_agg.abs().sort_values(ascending=False).□
    ↪head(5).index)
top_overlap_features = sorted(set(shap_top_features) & set(lime_top_features))

comparison_overlap_df = pd.DataFrame({
    'top_shap_local': pd.Series(shap_top_features),
    'top_lime_local': pd.Series(lime_top_features),
})
print('Comparacion top features SHAP vs LIME (mismo ejemplo):')
display(comparison_overlap_df)
print('Solapamiento top-5:', top_overlap_features if top_overlap_features else□
    ↪'Sin solapamiento directo (LIME usa reglas locales/intervalos)')

```

Grafico exportado:

./resultados/16_xai_comparacion_visual_shap_vs_lime_mismo_ejemplo.png



Comparacion top features SHAP vs LIME (mismo ejemplo):

	top_shap_local	top_lime_local
0	TIPO_AFILIACION	TIPO_AFILIACION
1	MES	EDAD
2	ESPECIALIDAD_ENCODED	ESPECIALIDAD_ENCODED
3	EDAD	GENERO
4	DIA_SEMANA	DIA_SEMANA

Solapamiento top-5: ['DIA_SEMANA', 'EDAD', 'ESPECIALIDAD_ENCODED', 'TIPO_AFILIACION']

0.6 Detección de sesgos (auditoría por subgrupos)

Se calculan métricas por subgrupos para variables sensibles o sensibles/proxy (GENERO, TIPO_AFILIACION) y por grupos de edad, con el fin de evidenciar posibles disparidades del modelo base.

0.6.1 Auditoria de sesgos: métricas por subgrupos (modelo base)

```
[49]: def add_age_group_column(eval_df):
    bins = [-np.inf, 17, 29, 44, 59, np.inf]
    labels = ['0-17', '18-29', '30-44', '45-59', '60+']
    out = eval_df.copy()
    out['EDAD_GRUPO'] = pd.cut(out['EDAD'], bins=bins, labels=labels)
    return out
```

```
def compute_group_metrics(eval_df, group_col, y_true_col='y_true', ↴
    y_pred_col='y_pred'):
    rows = []
    for group_value, grp in eval_df.groupby(group_col, dropna=False):
        if len(grp) == 0:
            continue
```

```

        rows.append({
            'grupo_columna': group_col,
            'grupo_valor': str(group_value),
            'n': int(len(grp)),
            'accuracy': accuracy_score(grp[y_true_col], grp[y_pred_col]),
            'f1_macro': f1_score(grp[y_true_col], grp[y_pred_col]),
            'average='macro', zero_division=0),
            'balanced_accuracy': balanced_accuracy_score(grp[y_true_col],
            ↪grp[y_pred_col]),
        })
    return pd.DataFrame(rows).sort_values(by='n', ascending=False).
    ↪reset_index(drop=True)

def compute_gap_summary(group_metrics_dict):
    rows = []
    for attr, df_metric in group_metrics_dict.items():
        if df_metric.empty:
            continue
        rows.append({
            'atributo': attr,
            'gap_accuracy': df_metric['accuracy'].max() - df_metric['accuracy'].min(),
            'gap_f1_macro': df_metric['f1_macro'].max() - df_metric['f1_macro'].min(),
            'gap_balanced_accuracy': df_metric['balanced_accuracy'].max() - df_metric['balanced_accuracy'].min(),
        })
    return pd.DataFrame(rows)

def plot_group_metric_bars(df_metric, attribute_name, suffix_prefix):
    if df_metric.empty:
        return
    plot_df = df_metric.melt(
        id_vars=['grupo_valor', 'n'],
        value_vars=['accuracy', 'f1_macro', 'balanced_accuracy'],
        var_name='metrica',
        value_name='valor',
    )
    plt.figure(figsize=(11, 5))
    sns.barplot(data=plot_df, x='grupo_valor', y='valor', hue='metrica',
    ↪palette='Set2')
    plt.ylim(0, 1)
    plt.title(f'Auditoria por subgrupos ({attribute_name}) - modelo base')
    plt.xlabel(attribute_name)

```

```

plt.ylabel('Valor')
plt.xticks(rotation=20)
save_current_figure(f'{suffix_prefix}_{attribute_name.lower()}_modelo_base')
plt.show()
plt.close()

baseline_eval = test_context.copy()
baseline_eval['y_true'] = y_test
baseline_eval['y_pred'] = y_pred
baseline_eval = add_age_group_column(baseline_eval)

# Normalizamos etiquetas string para una mejor lectura de tablas/graficos
baseline_eval['GENERO'] = baseline_eval['GENERO'].astype(str).str.upper()
baseline_eval['TIPO_AFILIACION'] = baseline_eval['TIPO_AFILIACION'].astype(str).
    ↪str.upper()

subgroup_metrics_base = {
    'GENERO': compute_group_metrics(baseline_eval, 'GENERO'),
    'TIPO_AFILIACION': compute_group_metrics(baseline_eval, 'TIPO_AFILIACION'),
    'EDAD_GRUPO': compute_group_metrics(baseline_eval, 'EDAD_GRUPO'),
}
for attr, df_metrics_attr in subgroup_metrics_base.items():
    print(f'\nMetricas por subgrupo ({attr}) - modelo base:')
    display(df_metrics_attr)
    plot_group_metric_bars(df_metrics_attr, attr, 'sesgo_metricas_subgrupos')

fairness_gap_baseline_df = compute_gap_summary(subgroup_metrics_base)
print('\nResumen de brechas (max-min) por atributo - modelo base:')
display(fairness_gap_baseline_df)

plt.figure(figsize=(10, 5))
gap_plot_base = fairness_gap_baseline_df.melt(id_vars='atributo', ↴
    ↪var_name='metrica_gap', value_name='brecha')
sns.barplot(data=gap_plot_base, x='atributo', y='brecha', hue='metrica_gap', ↪
    ↪palette='viridis')
plt.title('Brechas de desempeno por atributo (modelo base)')
plt.ylabel('Brecha max-min')
save_current_figure('sesgo_brechas_desempeno_por_atributo_modelo_base')
plt.show()
plt.close()

```

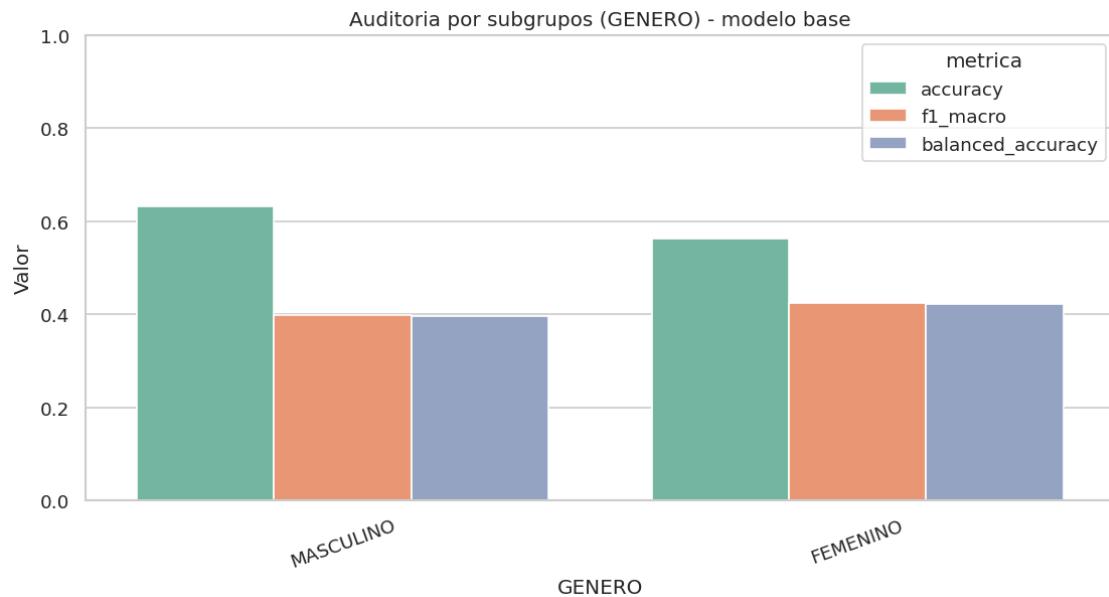
Metricas por subgrupo (GENERO) - modelo base:

	grupo_columna	grupo_valor	n	accuracy	f1_macro	balanced_accuracy
0	GENERO	MASCULINO	6803	0.632662	0.399177	0.396876

```
1          GENERO      FEMENINO  6727  0.562212  0.423829          0.421474
```

Grafico exportado:

```
./resultados/17_sesgo_metricas_subgrupos_genero_modelo_base.png
```

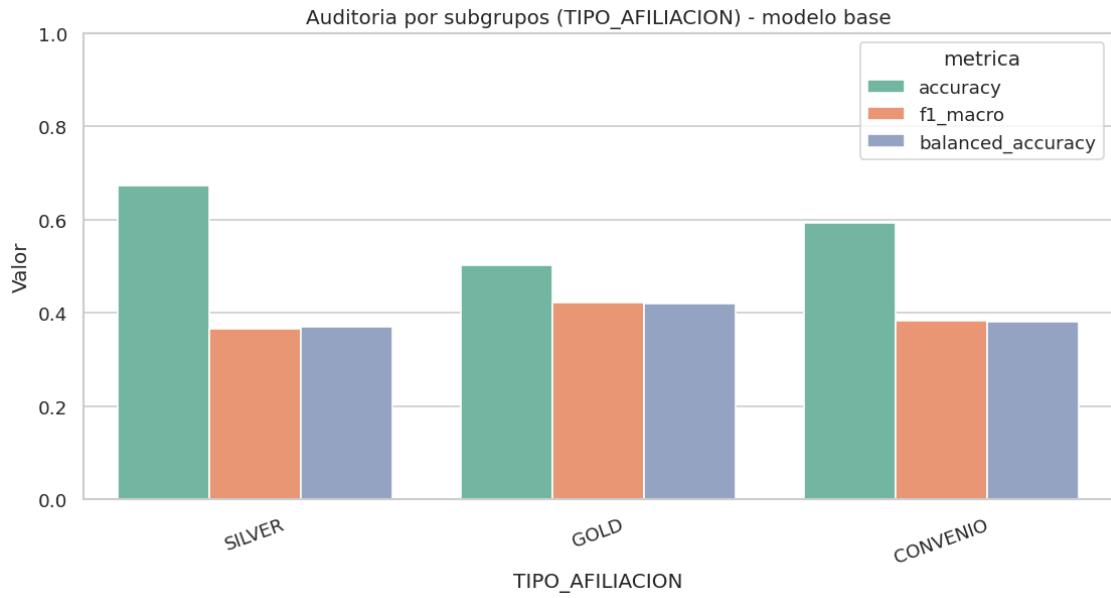


Metricas por subgrupo (TIPO_AFILIACION) - modelo base:

	grupo_columna	grupo_valor	n	accuracy	f1_macro	balanced_accuracy
0	TIPO_AFILIACION	SILVER	7265	0.673503	0.365653	0.369143
1	TIPO_AFILIACION	GOLD	5824	0.503262	0.422416	0.420842
2	TIPO_AFILIACION	CONVENIO	441	0.594104	0.383156	0.381967

Grafico exportado:

```
./resultados/18_sesgo_metricas_subgrupos_tipo_afiliacion_modelo_base.png
```

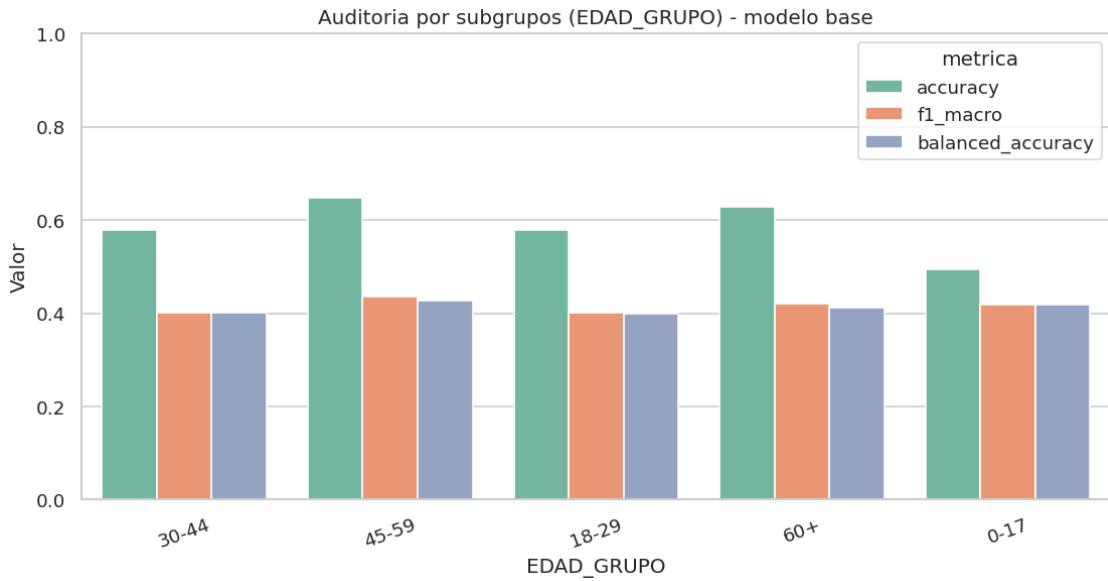


Metricas por subgrupo (EDAD_GRUPO) - modelo base:

	grupo_columna	grupo_valor	n	accuracy	f1_macro	balanced_accuracy
0	EDAD_GRUPO	30-44	4911	0.578294	0.401520	0.401615
1	EDAD_GRUPO	45-59	4181	0.647692	0.435381	0.428168
2	EDAD_GRUPO	18-29	2573	0.579479	0.401553	0.399158
3	EDAD_GRUPO	60+	939	0.628328	0.419811	0.412629
4	EDAD_GRUPO	0-17	926	0.493521	0.417923	0.417603

Grafico exportado:

./resultados/19_sesgo_metricas_subgrupos_edad_grupo_modelo_base.png

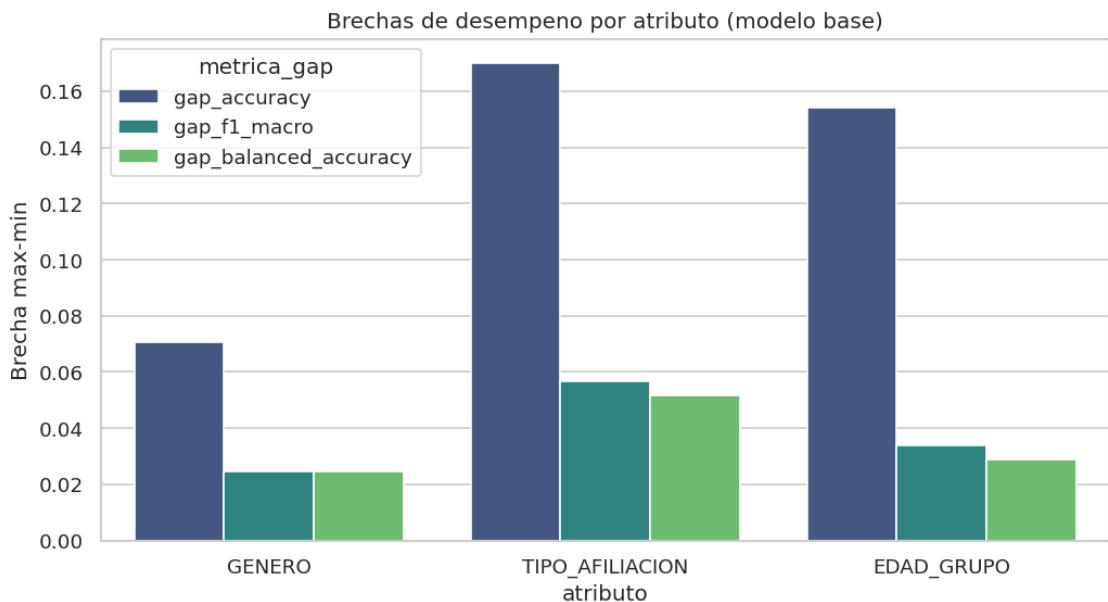


Resumen de brechas (max-min) por atributo - modelo base:

	atributo	gap_accuracy	gap_f1_macro	gap_balanced_accuracy
0	GENERO	0.070450	0.024653	0.024598
1	TIPO_AFILIACION	0.170241	0.056763	0.051699
2	EDAD_GRUPO	0.154171	0.033861	0.029010

Grafico exportado:

./resultados/20_sesgo_brechas_desempeno_por_atributo_modelo_base.png



0.6.2 Mitigación de sesgos (estrategia simple): excluir variables sensibles + class_weight balanceado

Nota: no elimina proxies completamente, pero permite comparar trade-offs de equidad y desempeño.

```
[50]: mitigation_features = [f for f in features if f not in sensitive_features]
print('Features modelo mitigado (sin variables sensibles directas):', mitigation_features)

model_mitigated = fit_random_forest_with_progress(
    X_train[mitigation_features],
    y_train,
    n_estimators=200,
    desc='Entrenamiento modelo mitigado (RF)',
    random_state=RANDOM_STATE,
    class_weight='balanced',
    n_jobs=-1,
)

y_pred_mitigated = model_mitigated.predict(X_test[mitigation_features])
y_pred_proba_mitigated = model_mitigated.
    ↪predict_proba(X_test[mitigation_features])

mitigated_metrics = {
    'accuracy': accuracy_score(y_test, y_pred_mitigated),
    'f1_macro': f1_score(y_test, y_pred_mitigated, average='macro', ↪
    ↪zero_division=0),
    'balanced_accuracy': balanced_accuracy_score(y_test, y_pred_mitigated),
}

overall_comparison_df = pd.DataFrame([
    {'modelo': 'base', **baseline_metrics},
    {'modelo': 'mitigado_sin_sensibles_balanceado', **mitigated_metrics},
])
print('Comparacion global de metricas (base vs mitigado):')
display(overall_comparison_df)

# Auditoria por subgrupos del modelo mitigado sobre el mismo conjunto de test
mitigated_eval = test_context.copy()
mitigated_eval['y_true'] = y_test
mitigated_eval['y_pred'] = y_pred_mitigated
mitigated_eval = add_age_group_column(mitigated_eval)
mitigated_eval['GENERO'] = mitigated_eval['GENERO'].astype(str).str.upper()
mitigated_eval['TIPO_AFILIACION'] = mitigated_eval['TIPO_AFILIACION'].
    ↪astype(str).str.upper()
```

```

subgroup_metrics_mitigated = {
    'GENERO': compute_group_metrics(mitigated_eval, 'GENERO'),
    'TIPO_AFILIACION': compute_group_metrics(mitigated_eval, 'TIPO_AFILIACION'),
    'EDAD_GRUPO': compute_group_metrics(mitigated_eval, 'EDAD_GRUPO'),
}
fairness_gap_mitigated_df = compute_gap_summary(subgroup_metrics_mitigated)

# Comparacion de brechas base vs mitigado
group_gap_comparison_df = fairness_gap_baseline_df.merge(
    fairness_gap_mitigated_df,
    on='atributo',
    suffixes=('_base', '_mitigado'),
)
print('\nComparacion de brechas por atributo (base vs mitigado):')
display(group_gap_comparison_df)

# Grafico: metricas globales base vs mitigado
overall_cmp_plot = overall_comparison_df.melt(id_vars='modelo',
    var_name='metrica', value_name='valor')
plt.figure(figsize=(10, 5))
sns.barplot(data=overall_cmp_plot, x='metrica', y='valor', hue='modelo',
    palette='Set1')
plt.ylim(0, 1)
plt.title('Comparacion de metricas globales: modelo base vs mitigado')
plt.ylabel('Valor')
save_current_figure('sesgo_mitigacion_comparacion_metricas_globales')
plt.show()
plt.close()

# Grafico: brechas de desempeno por atributo base vs mitigado
gap_compare_plot = pd.concat([
    fairness_gap_baseline_df.assign(modelo='base'),
    fairness_gap_mitigated_df.
        assign(modelo='mitigado_sin_sensibles_balanceado'),
], ignore_index=True)
gap_compare_plot = gap_compare_plot.melt(id_vars=['atributo', 'modelo'],
    var_name='metrica_gap', value_name='brecha')
gap_compare_plot['atributo_metrica'] = gap_compare_plot['atributo'] + ' | ' + \
    gap_compare_plot['metrica_gap'].str.replace('gap_', '', regex=False)
plt.figure(figsize=(14, 6))
sns.barplot(data=gap_compare_plot, x='atributo_metrica', y='brecha',
    hue='modelo', palette='Set2')
plt.title('Comparacion de brechas por atributo y metrica: base vs mitigado')
plt.xlabel('Atributo | metrica de brecha')

```

```

plt.ylabel('Brecha max-min')
plt.xticks(rotation=20, ha='right')
save_current_figure('sesgo_mitigacion_comparacion_brechas_por_atributo')
plt.show()
plt.close()

# Una visualizacion adicional por subgroup sensible (GENERO) para macro-F1
comp_genero = subgroup_metrics_base[['GENERO']][['grupo_valor', 'f1_macro']].\
    rename(columns={'f1_macro': 'f1_macro_base'})
comp_genero = comp_genero.merge(
    subgroup_metrics_mitigated[['GENERO']][['grupo_valor', 'f1_macro']].\
    rename(columns={'f1_macro': 'f1_macro_mitigado'}),
    on='grupo_valor',
    how='outer',
)
comp_genero_plot = comp_genero.melt(id_vars='grupo_valor', var_name='modelo', \
    value_name='f1_macro')
plt.figure(figsize=(8, 4))
sns.barplot(data=comp_genero_plot, x='grupo_valor', y='f1_macro', hue='modelo', \
    palette='pastel')
plt.ylim(0, 1)
plt.title('Macro-F1 por GENERO: modelo base vs mitigado')
plt.xlabel('GENERO')
plt.ylabel('Macro-F1')
save_current_figure('sesgo_mitigacion_macro_f1_por_genero')
plt.show()
plt.close()

```

Features modelo mitigado (sin variables sensibles directas): ['EDAD',
'ESPECIALIDAD_ENCODED', 'MES', 'DIA_SEMANA']

Entrenamiento modelo mitigado (RF): 0% | 0/200 [00:00<?, ?it/s]

Comparacion global de metricas (base vs mitigado):

	modelo	accuracy	f1_macro	balanced_accuracy
0	base	0.597635	0.415984	0.412809
1	mitigado_sin_sensibles_balanceado	0.483222	0.402279	0.412496

Comparacion de brechas por atributo (base vs mitigado):

	atributo	gap_accuracy_base	gap_f1_macro_base	\
0	GENERO	0.070450	0.024653	
1	TIPO_AFILIACION	0.170241	0.056763	
2	EDAD_GRUPO	0.154171	0.033861	
	gap_balanced_accuracy_base	gap_accuracy_mitigado	gap_f1_macro_mitigado	\
0	0.024598	0.010241	0.018219	
1	0.051699	0.063486	0.039216	

2	0.029010	0.151529	0.050874
gap_balanced_accuracy_mitigado			
0	0.008948		
1	0.035064		
2	0.033455		

Grafico exportado:

./resultados/21_sesgo_mitigacion_comparacion_metricas_globales.png

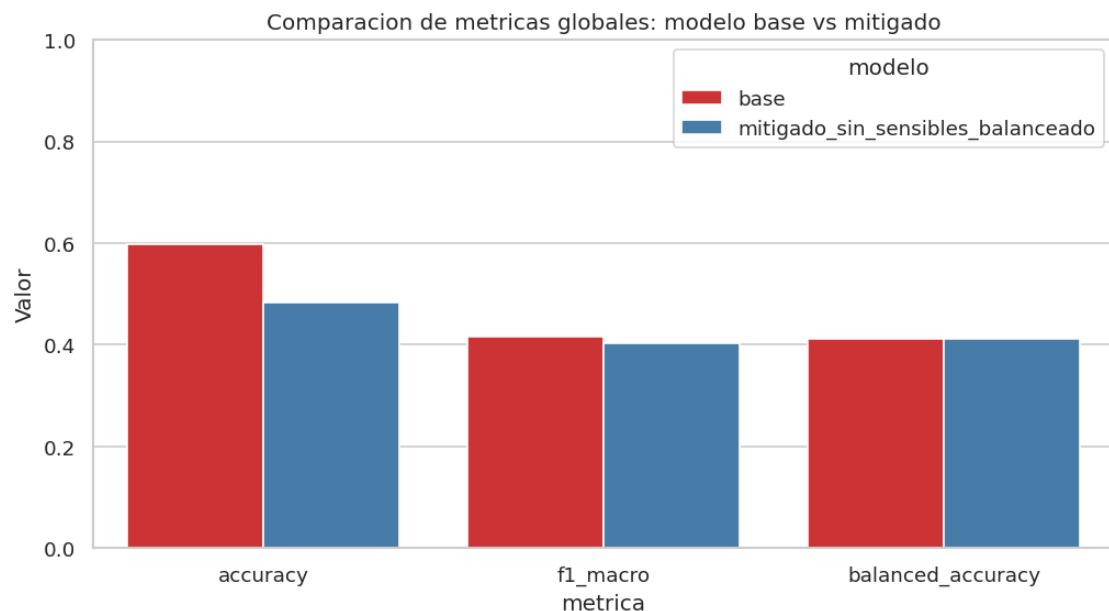


Grafico exportado:

./resultados/22_sesgo_mitigacion_comparacion_brechas_por_atributo.png

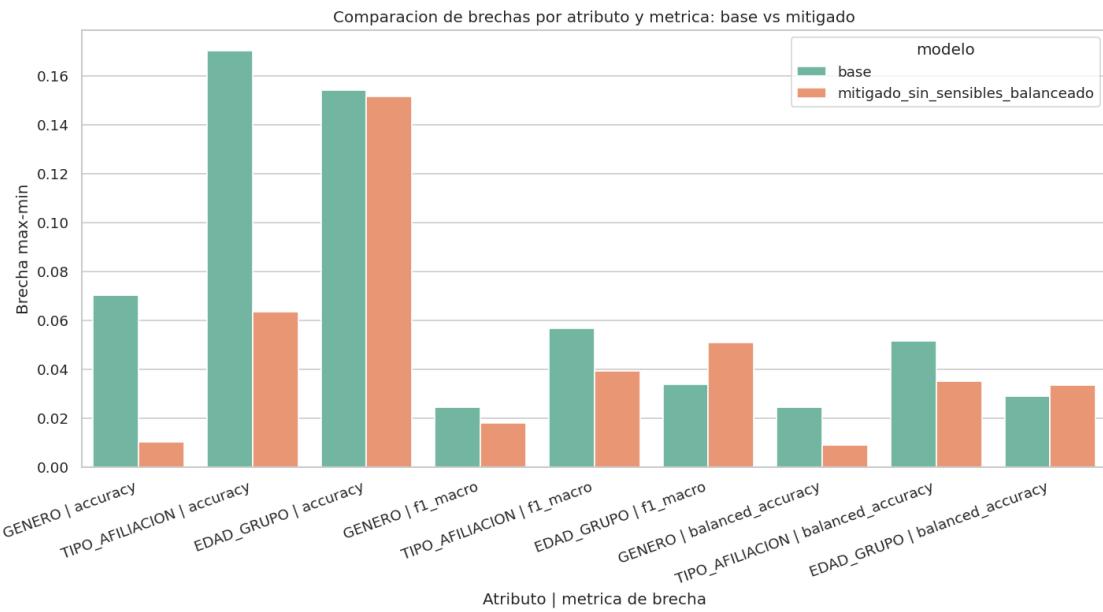
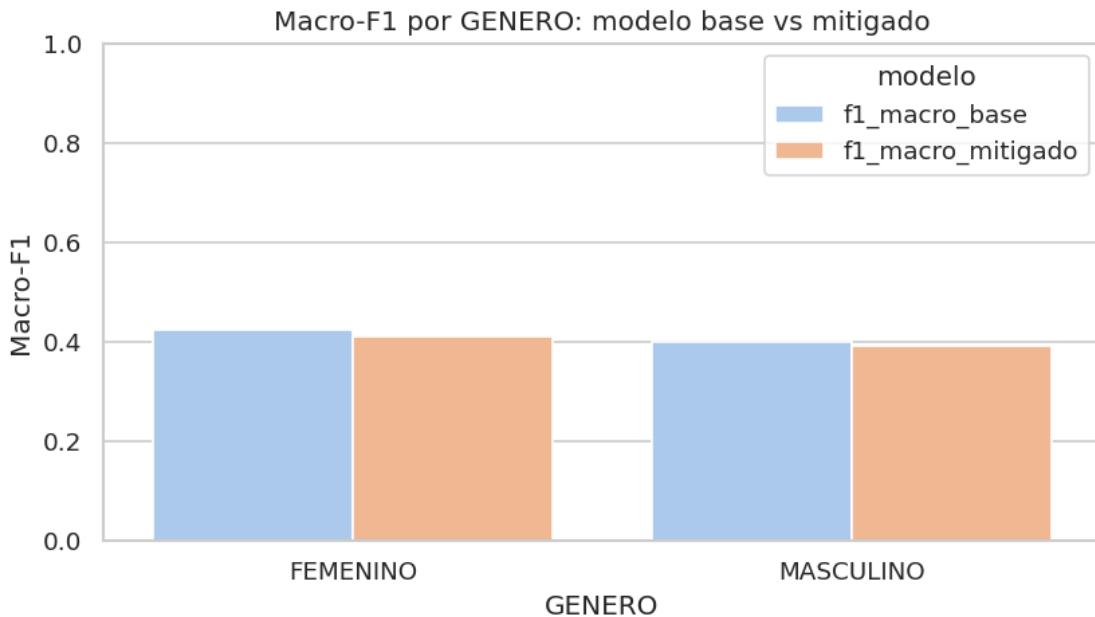


Grafico exportado: ./resultados/23_sesgo_mitigacion_macro_f1_por_genero.png



0.7 7. Analisis interpretativo y reflexivo

1. Alcance del entrenamiento y partición de datos

- El modelo **no** se entrena con una muestra pequena: se entrena con **todo X_train** (split de

entrenamiento).

- `X_test` se reserva para evaluación final (holdout), por lo que **no** se usa para ajustar el modelo.
- La validación cruzada (5-fold) recorre el dataset completo por pliegues para estimar estabilidad.
- La única reducción por muestreo aplica a **SHAP** para visualización: muestra configurable de `X_test` (efectiva: 300/13530). Esto **no** afecta el entrenamiento.

2. Desempeño del modelo base (holdout)

- Accuracy: **59.76%**
- F1 macro: **41.60%**
- Balanced accuracy: **41.28%**
- Soporte visual complementario: matriz de confusión, curvas ROC multiclas y gráfico de métricas holdout.

3. Estabilidad del modelo (validación cruzada 5-fold)

- Accuracy promedio +- desviación: **60.06% +- 0.27%**
- F1 macro promedio +- desviación: **41.79% +- 0.38%**
- Balanced accuracy promedio +- desviación: **41.44% +- 0.31%**
- Interpretación: la validación cruzada complementa el holdout y permite verificar consistencia entre pliegues.

4. Explicabilidad (SHAP y LIME)

- Variables mas influyentes segun **SHAP global** (top 5): **ESPECIALIDAD_ENCODED, TIPO_AFILIACION, EDAD, MES, DIA_SEMANA**.
- En el ejemplo local de SHAP, la interpretacion se hace sobre la **clase predicha por el modelo** para ese registro (no sobre una clase seleccionada manualmente).
- Reglas/atributos mas relevantes del ejemplo local en **LIME** (top 5):
 - `TIPO_AFILIACION <= 2.00`
 - `EDAD > 49.00`
 - `13.00 < ESPECIALIDAD_ENCODED <= 27.00`
 - `0.00 < GENERO <= 1.00`
 - `2.00 < DIA_SEMANA <= 4.00`
- Reflexion concreta: tanto SHAP como LIME vuelven a resaltar **TIPO_AFILIACION, EDAD** y **ESPECIALIDAD_ENCODED** (en SHAP como variables globales; en LIME como reglas locales del ejemplo), lo que sugiere que estas variables estructuran una parte importante de la decision del modelo.
- La comparacion SHAP vs LIME permite contrastar coherencia entre contribuciones globales/locales y reglas locales aproximadas. ##### 5. Auditoría de sesgos
- Brecha por `GENERO` (max-min entre subgrupos): **accuracy=7.05%, f1_macro=2.47%, balanced_accuracy=2.46%**

- Brecha por TIPO_AFILIACION (max-min entre subgrupos): **accuracy=17.02%**, **f1_macro=5.68%**, **balanced_accuracy=5.17%**
- Brecha por EDAD_GRUPO (max-min entre subgrupos): **accuracy=15.42%**, **f1_macro=3.39%**, **balanced_accuracy=2.90%**

6. Mitigación y trade-off (base vs mitigado)

- Comparación global de métricas:
- **base**: accuracy=59.76%, f1_macro=41.60%, balanced_accuracy=41.28%
- **mitigado_sin_sensibles_balanceado**: accuracy=48.32%, f1_macro=40.23%, balanced_accuracy=41.25%
- Cambio en brechas por GENERO (base -> mitigado): **accuracy 7.05% -> 1.02%**; **f1_macro 2.47% -> 1.82%**; **balanced_accuracy 2.46% -> 0.89%**
- Cambio en brechas por TIPO_AFILIACION (base -> mitigado): **accuracy 17.02% -> 6.35%**; **f1_macro 5.68% -> 3.92%**; **balanced_accuracy 5.17% -> 3.51%**
- Cambio en brechas por EDAD_GRUPO (base -> mitigado): **accuracy 15.42% -> 15.15%**; **f1_macro 3.39% -> 5.09%**; **balanced_accuracy 2.90% -> 3.35%**
- Interpretación: la mitigación debe evaluarse por su efecto conjunto en rendimiento global y equidad por subgrupos.