Reporte de selección y parametrización de modelos

Mariana Arias

Alejandro Murcia Pinilla

Juan Camilo Pérez

Johan Santacruz

Mayo 2023

Contenido

Todos los procesos y resultados obtenidos de los puntos 1, 2 y 3 pueden ser consultados a detalle usando un notebook del repositorio. No es necesario revisar el código para la comprensión de los resultados obtenidos, pero es recomendable de realizar si se desean obtener mayores detalles técnicos.

1. Implementación de los modelos

a. Tratamiento previo de datos y verificación de supuestos

Todo el trabajo inicia desde la sabana de datos creada por el equipo, en la cual se juntó la información de los contratos públicos de obras para Colombia, incluyendo una marcación para aquellos proyectos que recibieron una multa. Todos estos datos fueron almacenados dentro de la base de datos diseñada y recreada por el equipo a partir de la información disponible en la página del SECOP.

Para realizar el modelo de clasificación de la base de datos del SECOP se definió como la variable dependiente a aquellos contratos que resultaron en una multa, lo cual derivó de una serie de análisis previos para el entendimiento de los datos.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis de los valores nulos presentes en los datos, con el objetivo de quedarnos únicamente con las variables que tenían un nivel de completitud mayor al 88%. De las 88 columnas iniciales nos quedamos con 50 que cumplían el porcentaje de completitud deseado. (El origen de los datos es una tabla llamada *SabanaAnalitica* que combina las 3 fuentes de datos usadas en el proyecto y su construcción será detallada más adelante).

	Nulos	Porcentaje
Con_Fecha de Inicio de Ejecucion	42860	0.912653
Con_Fecha de Fin de Ejecucion	42749	0.910289
Pro_Fecha de Publicacion (Manifestacion de Inte...	41486	0.883395
Con_Fecha Fin Liquidacion	37986	0.808867
Con_Fecha Inicio Liquidacion	37983	0.808803
Pro_Fecha de Publicacion (Fase Borrador)	37129	0.790618
Pro_Fecha Adjudicacion	30493	0.649312
Con_Fecha de Inicio del Contrato	28074	0.597802
Con_Fecha de Firma	27970	0.595588
Con_Fecha de Fin del Contrato	26459	0.563413
Con_Valor Pendiente de Ejecucion	25638	0.545931
Con_Valor del Contrato	25570	0.544483
Con_Valor de pago adelantado	25570	0.544483
Con_Sector	25570	0.544483
Con_Rama	25570	0.544483
Con_ID Contrato	25570	0.544483
Con_Referencia del Contrato	25570	0.544483
Con_Estado Contrato	25570	0.544483
Con_Tipo de Contrato	25570	0.544483
Con_Orden	25570	0.544483
Con_Valor Facturado	25570	0.544483
Con_Valor Pendiente de Pago	25570	0.544483
Con_Valor Pagado	25570	0.544483
Con_Valor Amortizado	25570	0.544483
Con_Valor Pendiente de Amortizacion	25570	0.544483
Con_Dias Adicionados	25570	0.544483
Pro_Fecha de Publicacion (Fase Seleccion)	20516	0.436864
Pro_Fecha de Apertura de Respuesta	14925	0.317810
Pro_Fecha de Apertura Efectiva	14556	0.309953
Pro_Fecha de Recepcion de Respuestas	14086	0.299945
Pro_Fecha de Publicacion del Proceso	5207	0.110877

	Nulos	Porcentaje
Pro_Fecha de Publicacion del Proceso	5207	0.110877
Pro_Fecha de Ultima Publicación	5207	0.110877
Pro_Nombre del Adjudicador	5143	0.109514
Pro_Estado Resumen	5142	0.109493
Pro_Precio Base	5142	0.109493
Pro_Justificación Modalidad de Contratación	5142	0.109493
Pro_Codigo Principal de Categoria	5142	0.109493
Pro_Subtipo de Contrato	5142	0.109493
Pro_Conteo de Respuestas a Ofertas	5142	0.109493
Pro_Unidad de Duracion	5142	0.109493
Pro_Ciudad de la Unidad de Contratación	5142	0.109493
Pro_Nombre de la Unidad de Contratación	5142	0.109493
Pro_Proveedores Invitados	5142	0.109493
Pro_Proveedores con Invitacion Directa	5142	0.109493
Pro_Visualizaciones del Procedimiento	5142	0.109493
Pro_Proveedores que Manifestaron Interes	5142	0.109493
Pro_Respuestas al Procedimiento	5142	0.109493
Pro_Respuestas Externas	5142	0.109493
Pro_Proveedores Unicos con Respuestas	5142	0.109493
Pro_Estado de Apertura del Proceso	5142	0.109493
Pro_Numero de Lotes	5142	0.109493
Pro_Estado del Procedimiento	5142	0.109493
Pro_ID Estado del Procedimiento	5142	0.109493
Pro_Adjudicado	5142	0.109493
Pro_ID Adjudicacion	5142	0.109493
Pro_Departamento Proveedor	5142	0.109493
Pro_Ciudad Proveedor	5142	0.109493
Pro_Valor Total Adjudicacion	5142	0.109493
Pro_Duracion	5142	0.109493
Pro_Nombre del Procedimiento	326	0.006942

Fig. 1. *Análisis de completitud de datos. La tolerancia aceptada fue del 12%.*

A continuación, se realizó un análisis descriptivo y estadístico de las variables numéricas, observando que algunas de ellas presentaban valores máximos que superaban el percentil 75%, lo cual podría indicar la presencia de outliers. Más adelante se abordará este tema con más detalle.

	Pro_Precio Base	Pro_Duracion	Pro_Proveedores Invitados	Pro_Proveedores con Invitacion Directa	Pro_Visualizaciones del Procedimiento	Pro_Proveedores que Manifestaron Interes	Pro_Respuestas al Procedimiento	Pro_Respuestas Externas	Pro_Conteo de Respuestas a Ofertas	Pro_Proveedores Unicos con Respuestas	Pro_Numero de Lotes	Pro_Valor Total Adjudicacion
count	4.182000e+04	41820.000000	41820.000000	41820.000000	41820.0	41820.0	41820.000000	41820.000000	41820.0	41820.000000	41820.000000	4.182000e+04
mean	7.886626e+09	35.063630	78.589383	4.894046	0.0	0.0	4.629005	0.012673	0.0	4.616236	0.396676	7.637152e+09
std	1.297831e+11	84.871694	137.807041	21.622022	0.0	0.0	14.366466	0.225753	0.0	14.359203	2.222539	1.913562e+11
min	-3.971665e+08	0.000000	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000e+00
25%	8.255317e+07	3.000000	7.000000	0.000000	0.0	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000e+00
50%	2.824210e+08	7.000000	44.000000	0.000000	0.0	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.000000e+00
75%	9.999934e+08	30.000000	110.000000	0.000000	0.0	0.0	3.000000	0.000000	0.0	3.000000	0.000000	1.233574e+08
max	1.321229e+13	3600.000000	5299.000000	389.000000	0.0	0.0	254.000000	17.000000	0.0	254.000000	38.000000	1.328415e+13

Fig. 2. *Análisis estadístico de las variables. En este se puede ver que variables como Precio Base puede tener la presencia de atípicos, ya que el valor máximo se aleja bastante del percentil 75%.*

En cuanto al análisis de las variables categóricas, se estableció un límite de 34 categorías para seleccionar las variables. Esta cantidad corresponde al número de departamentos que hay en la base. De las 88 variables disponibles, aplicando estas condiciones, quedaron 31 variables candidatas para usar en el modelo.

Pro_Entidad	2545	Pro_ID Estado del Procedimiento	6
Pro_Nit_Entidad	2383	Pro_Adjudicado	2
Pro_Departamento_Entidad	34	Pro_ID Adjudicacion	14540
Pro_Ciudad Entidad	517	Pro_CodigoProveedor	10744
Pro_OrdenEntidad	3	Pro_Departamento Proveedor	34
Pro_Entidad Centralizada	5	Pro_Ciudad Proveedor	260
Pro_ID del Proceso	39568	Pro_Nombre del Adjudicador	4088
Pro_Referencia del Proceso	36986	Pro_Nombre del Proveedor Adjudicado	10438
Pro_PCI	474	Pro_NIT del Proveedor Adjudicado	3205
Pro_ID del Portafolio	24560	Pro_Codigo Principal de Categoria	1234
Pro_Nombre del Procedimiento	33592	Pro_Estado de Apertura del Proceso	2
Pro_Fase	11	Pro_Tipo de Contrato	1
Pro_Modalidad de Contratacion	9	Pro_Subtipo de Contrato	1
Pro_Justificación Modalidad de Contratación	16	Pro_URLProceso	39498
Pro_Unidad de Duracion	4	Pro_Codigo Entidad	2594
Pro_Ciudad de la Unidad de Contratación	541	Pro_Estado Resumen	11
Pro_Nombre de la Unidad de Contratación	2555	Cat_Extraccion	3
Pro_Estado del Procedimiento	2	FueMultado	2

Fig. 3. *Análisis variables Categóricas. Se tomó como referencia del número máximo de categorías, las de la variable departamento.*

Dado que la variable FueMultado es nuestra variable de respuesta, se analizaron las categorías que tenía internamente, dejándola como una variable numérica con valores 0 y 1, donde 0 indicaba que el contrato no tenía multas y 1 que sí las tenía.

Se llevó a cabo un tratamiento para los registros nulos, donde se eliminaron aquellos registros nulos que no contenían la categoría 1 en la variable de respuesta (pues es la que indica la multa).

```
Pro_Fecha de Publicacion del Proceso          1
Pro_Fecha de Ultima Publicación               1
Pro_Precio Base                               1
Pro_Duracion                                  1
Pro_Proveedores Invitados                     1
Pro_Proveedores con Invitacion Directa        1
Pro_Visualizaciones del Procedimiento         1
Pro_Proveedores que Manifestaron Interes      1
Pro_Respuestas al Procedimiento               1
Pro_Respuestas Externas                       1
Pro_Conteo de Respuestas a Ofertas            1
Pro_Proveedores Unicos con Respuestas         1
Pro_Numero de Lotes                           1
Pro_Valor Total Adjudicacion                  1
Pro_Departamento Entidad                      0
Pro_OrdenEntidad                              0
Pro_Entidad Centralizada                      0
Pro_Fase                                      0
Pro_Modalidad de Contratacion                 0
Pro_Justificación Modalidad de Contratación   1
Pro_Unidad de Duracion                        1
Pro_Estado del Procedimiento                  1
Pro_ID Estado del Procedimiento               1
Pro_Adjudicado                                1
Pro_Departamento Proveedor                    1
Pro_Estado de Apertura del Proceso            1
Pro_Tipo de Contrato                          0
Pro_Subtipo de Contrato                       1
Pro_Estado Resumen                            1
Cat_Extraccion                                0
FueMultado                                    0
```

Fig. 4. *Análisis de nulos de las variables seleccionadas luego de haber hecho la limpieza.*

También se trabajó en la detección y tratamiento de valores atípicos o outliers, probando dos métodos diferentes: el método del rango intercuartílico (IQR) y el método de los límites de Tukey. Finalmente, se seleccionó el método de los límites de Tukey ya que eliminaba menos registros del total de la base.

```
Base Completa
0    41682
1       74
Name: FueMultado, dtype: int64

Método Rango IQ
0    20497
1       74
Name: FueMultado, dtype: int64

Método de Turkey
0    38447
1       74
Name: FueMultado, dtype: int64
```

Fig. 5. *Eliminación de Outliers. EL método de Turkey elimina menos registros que el método del Rango IQR.*

Por último, se realizó un análisis de correlación entre las variables numéricas seleccionadas, concluyendo que presentaban una baja correlación entre ellas, por lo cual se decidió dejar todas las variables numéricas para utilizar en el modelo.

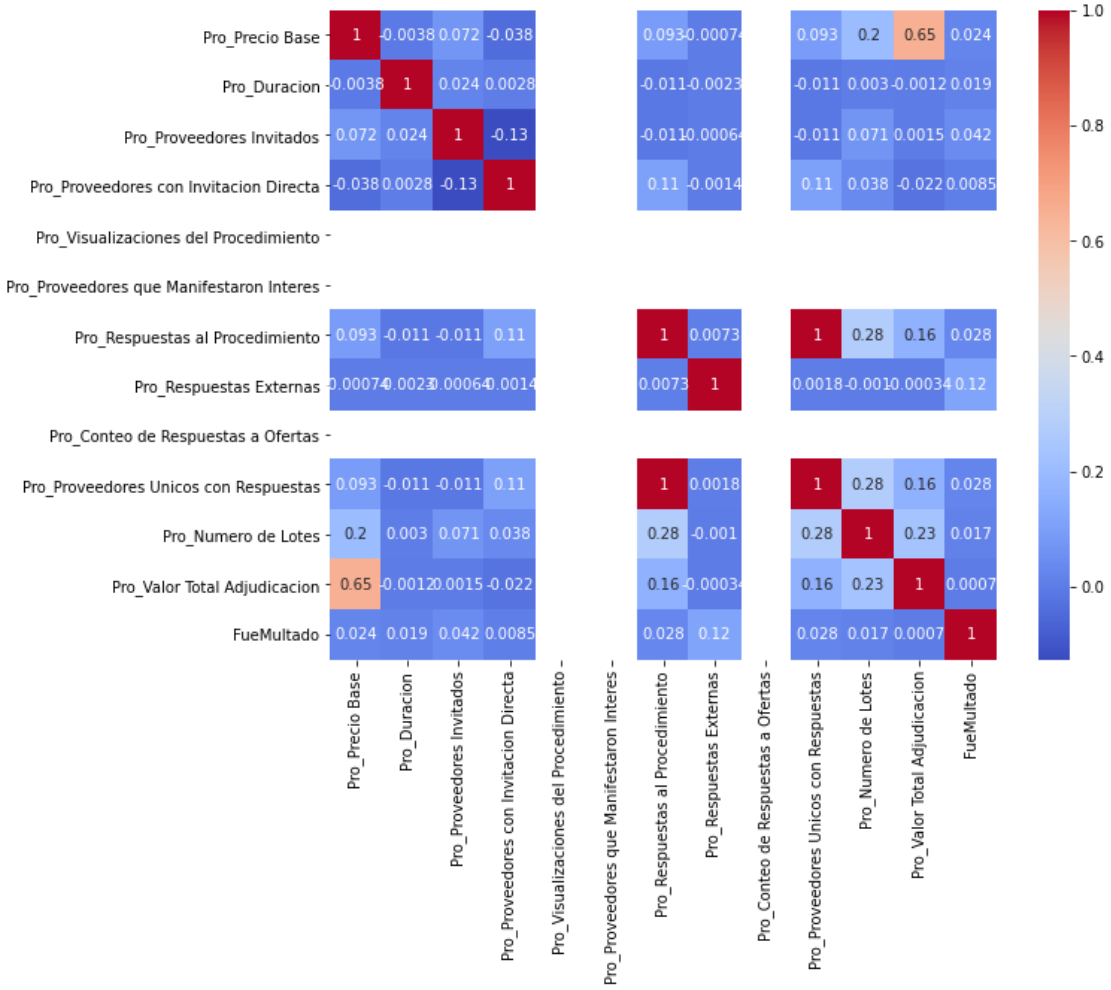
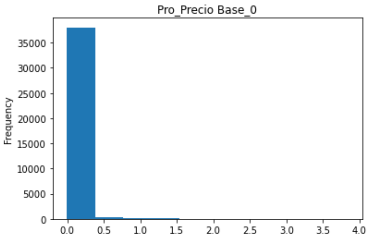


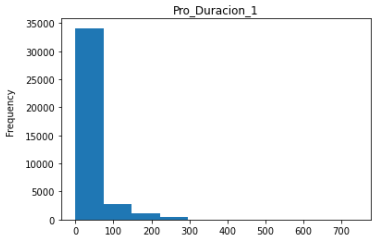
Fig. 6. *Análisis de correlaciones de variables numéricas*

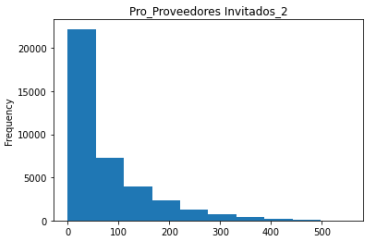
b. Análisis Univariado y Bivariado

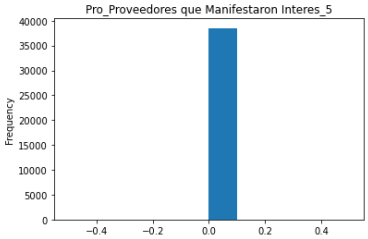
Análisis Univariado

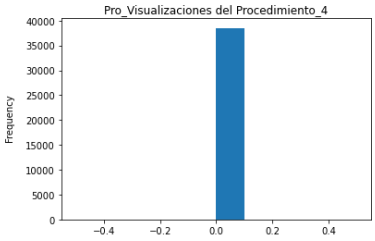
Variables independientes


Pro_Precio Base_0
Frequency


Pro_Duracion_1
Frequency

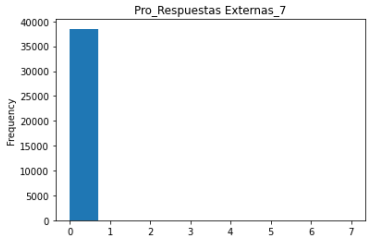

Pro_Proveedores Invitados_2
Frequency

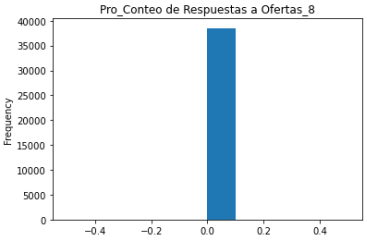

Pro_Proveedores que Manifestaron Interes_5
Frequency

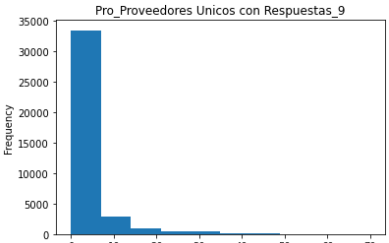

Pro_Visualizaciones del Procedimiento_4
Frequency

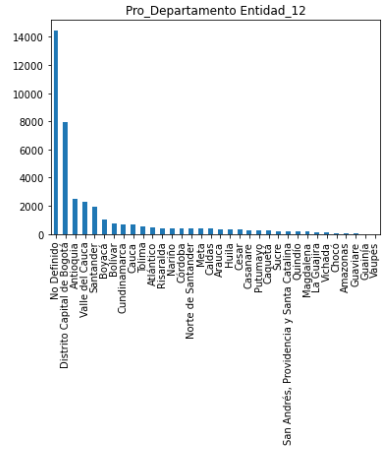

Pro_Proveedores con Invitacion Directa_3
Frequency

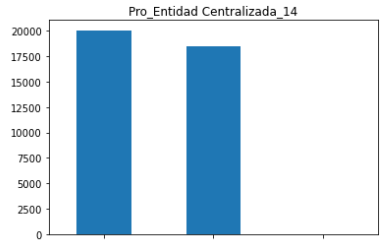

Pro_Respuestas al Procedimiento_6
Frequency

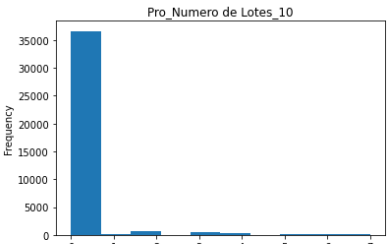

Pro_Respuestas Externas_7
Frequency

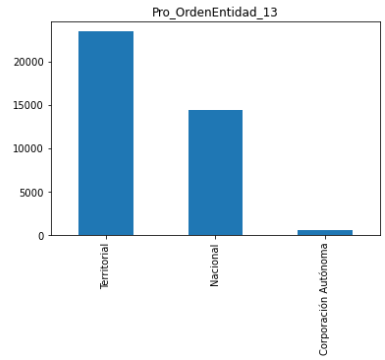

Pro_Conteo de Respuestas a Ofertas_8
Frequency

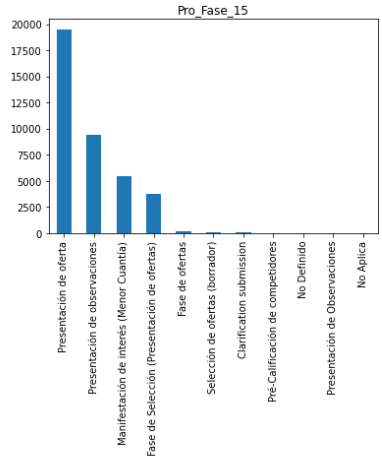

Pro_Proveedores Unicos con Respuestas_9
Frequency

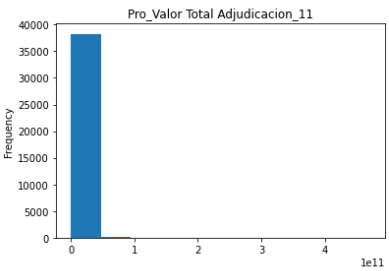

Pro_Departamento Entidad_12
No Definido
Distrito Capital de Bogotá
Antioquia
Valle del Cauca
Santander
Boyacá
Bolívar
Cundinamarca
Cauca
Tolima
Atlántico
Risaralda
Nariño
Córdoba
Norte de Santander
Meta
Caldas
Arauca
Huila
Cesar
Casanare
Putumayo
Caquetá
Sucre
San Andrés, Providencia y Santa Catalina
Quindío
Magdalena
La Guajira
Vichada
Chocó
Amazonas
Guaviare
Guainía
Vaupés


Pro_Entidad Centralizada_14
No
Si
Centralizada


Pro_Numero de Lotes_10
Frequency


Pro_OrdenEntidad_13
Territorial
Nacional
Corporación Autónoma


Pro_Fase_15
Presentación de oferta
Presentación de observaciones
Manifestación de interés (Menor Cuantía)
Fase de Selección (Presentación de ofertas)
Fase de ofertas
Selección de ofertas (borrador)
Clarification submission
Pré-Calificación de competidores
No Definido
Presentación de Observaciones
No Aplica


Pro_Valor Total Adjudicacion_11
Frequency
1e11

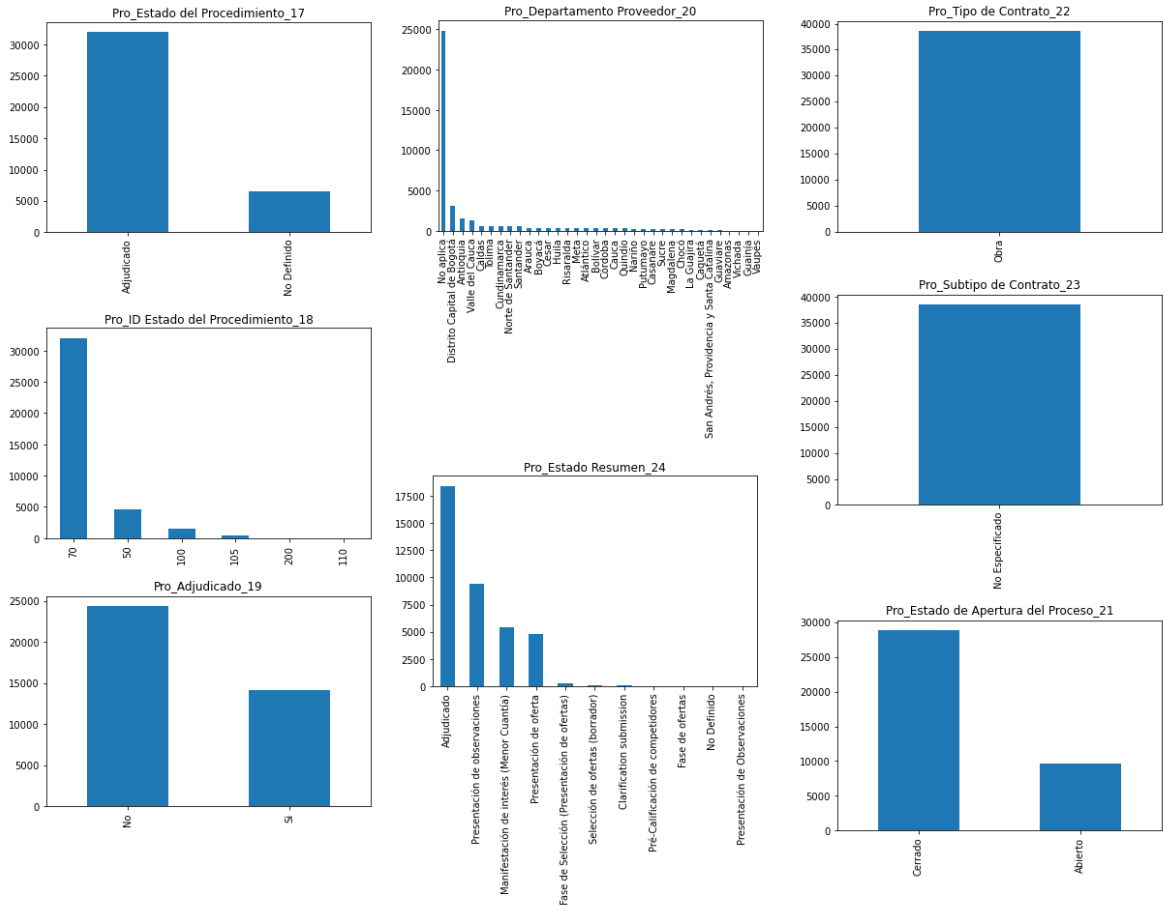


Fig. 7. *Distribución de variables independientes dentro del conjunto de datos.*

Variable Respuesta

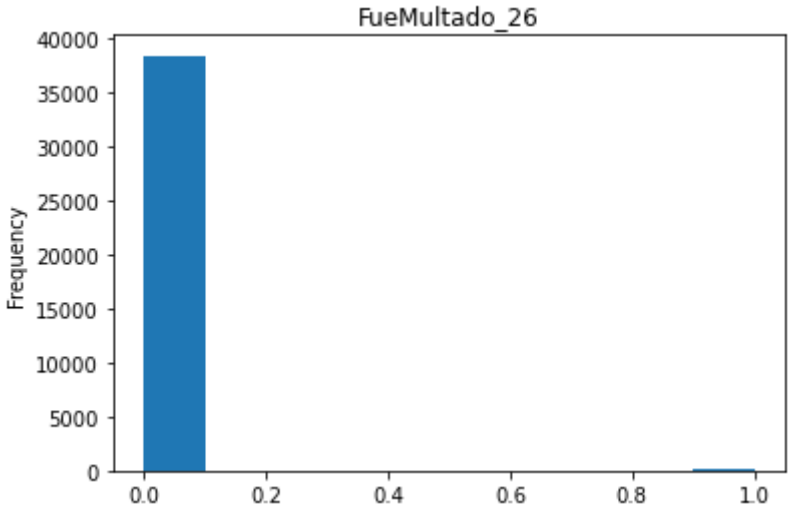


Fig. 8. *Distribución de la variable de respuesta, con evidente desbalanceo de clases.*

Hay bastantes cosas importantes para resaltar dentro del análisis univariado, entre los cuales, lo primero a mencionar es el evidente desbalanceo que existe entre las clases, ya que

contamos con un total aproximado de 40.000 proyectos sin multar, comparado contra un total de 75 proyectos multados, lo cual nos generó en su momento la duda con respecto a si se debería aplicar alguna técnica para rebalanceo de clases o no.

Adicionalmente, es posible identificar que hay variables categóricas que solamente representan una categoría, como en este caso sería el tipo y el subtipo de contrato, por lo cual aplicar esta variable dentro de un modelo no tendría mayor relevancia a la hora de explicar los proyectos multados.

Finalmente, nos permitió identificar que existen variables numéricas dentro de los datos que tienen comportamientos que se asemejan a una distribución logarítmica, razón por la cual requieren de la aplicación de ciertos tratamientos y transformaciones especiales si quisiéramos hacer uso de estas en modelos lineales.

Análisis Bivariado

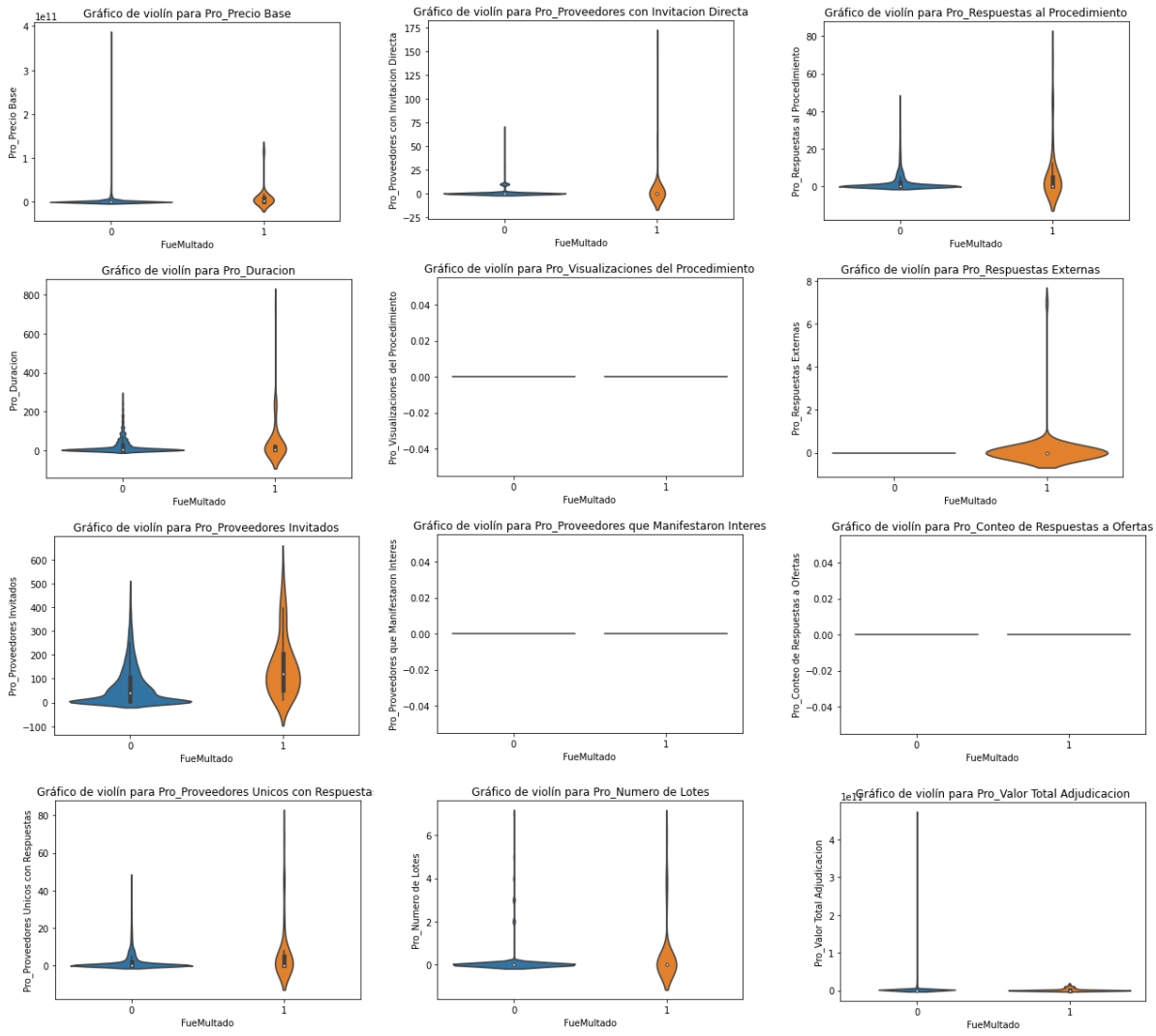


Fig. 9. *Análisis bivariados de las variables independientes.*

Dentro del análisis bivariado encontramos cosas bastante interesantes y que tal vez no eran tan deducibles antes de hacer el ejercicio, entre las cuales podeos observar que la variable de proveedores invitados pareciera tener una incidencia bastante marcada con la segmentación entre los proyectos multados y aquellos que no. Esto se puede evidenciar en que la distribución de los proyectos multados se extiende un poco más hacia los proyectos con mayor cantidad de proveedores invitados, mientras que los no multados tienen la mayoría de su población dentro de niveles bajos para dicha variable.

Adicionalmente, podemos observar que, el valor total adjudicado no siempre se traduce en mayor probabilidad de que el proyecto sea multado, ya que puede ser una intuición previa al entendimiento de los datos el llegar a pensar que entre más costoso es el proyecto corre mayor riesgo de presentar fallas que conlleven a una multa; por el contrario, vemos entonces que esta segmentación no es tan clara al hablar únicamente de la relación entre estas dos variables.

En pocas palabras, este análisis nos permitió darle un entendimiento previo a que aún sin la combinación entre las variables, si existe algún tipo de relación entre las variables dependientes y la variable dependiente.

c. Selección de modelos y métricas de desempeño

Modelos

Se probaron diferentes algoritmos con los datos existentes, de los cuales destacaron dos por los resultados obtenidos, así como por su flexibilidad para poder ser calibrados y obtener información relevante extra para el negocio, los cuales fueron:

Random Forest

Es ideal para este problema de negocio ya que en el análisis exploratorio de los datos es evidente la no linealidad de los mismos respecto a la variable de interés. Por ello, un model-based como RF, además de contar con un mejor performance y escalabilidad comparado a otros modelos de ensamble como XGBoost, lo hicieron un candidato muy importante para ser tenido en cuenta en el contexto del presente proyecto.

Otra característica importante es que, debido a que ofrece interpretación de las variables más relevantes del modelo construido, dicha información podría ser también utilizada para ayudarnos a identificar campos importantes que se deben incluir tanto en el modelo en estrella como en el tablero (ya sea al usar dichos campos como filtros o para soportar la explicación de los pronósticos realizados de una manera gráfica, como las categorías de un pie chart).

Redes Neuronales

A pesar de no contar con un dataset de datos muy grande, decidimos utilizar RN ya que suelen ofrecer resultados muy buenos en conjuntos de datos donde no hay linealidad y al buen balance en la dicotomía sesgo-varianza usualmente alcanzado con este tipo de modelos.

Métricas

Existen varias métricas importantes para evaluar la calidad de un modelo de clasificación que se generan a partir de la matriz de confusión. Esta es una tabla que muestra la cantidad de

verdaderos positivos, falsos positivos, verdaderos negativos y falsos negativos. Con esta matriz se pueden calcular diversas métricas, como la precisión (accuracy), sensibilidad (recall), especificidad (specificity) y el F1-Score. Estas métricas son importantes porque permiten evaluar el rendimiento del modelo en términos de su capacidad para identificar correctamente los casos positivos y negativos.

La **precisión** (accuracy) mide la proporción de observaciones clasificadas correctamente como positivas entre todas las observaciones clasificadas como verdaderos positivas y falsos negativos. Para este caso, donde lo que se quiere mirar la posibilidad que un contrato resulte en multa, la precisión es importante porque mide la proporción de detecciones de multas que son correctas. Si el modelo tiene una precisión alta, entonces la mayoría de las detecciones de multas que hace son correctas.

Por su parte, la **sensibilidad** (recall) mide la proporción de observaciones positivas clasificadas correctamente como positivas sobre el total de verdaderos positivos más falsos negativos. Esta es importante porque mide la proporción de casos de multas que son detectados por el modelo. Si el modelo tiene una sensibilidad alta, entonces detecta la mayoría de los casos de multas.

El **F1 Score** combina la precisión y la sensibilidad en una sola medida. Es para este tipo de casos donde el modelo esta desbalanceado porque tiene en cuenta tanto los verdaderos positivos como los falsos positivos. El valor F1 proporciona una medida única de la calidad general del modelo mediante la siguiente relación F1 = 2 * (precisión * recall) / (precisión + recall).

En cuanto a la **curva ROC** y el área bajo la curva (**AUC**), son útiles para evaluar el rendimiento general del modelo en diferentes puntos de corte de probabilidad. La curva ROC traza la tasa de verdaderos positivos (sensibilidad) en función de la tasa de falsos positivos (1 - especificidad). El AUC mide la probabilidad de que el modelo clasifique una observación positiva elegida al azar más alta que una observación negativa elegida al azar.

En este punto es importante mencionar que, debido a las necesidades del negocio propuestas en el desarrollo del proyecto, nuestra intención era conseguir un modelo que pudiera ofrecer una alta sensibilidad, es decir, que lograr marcar como multados a la mayoría de los proyectos que realmente habían sido multados. De esta forma, se hizo uso de la precisión como segunda métrica de selección del modelo, debido a la importancia de que aquello que se clasificara como multado realmente fuera multado.

d. Validación y ajuste del proceso experimental

Antes de empezar a probar modelos Se realizaron algunos ajustes a los datos para que estos se pudieran trabajar con los modelos. Entre los ajustes realizados se destacan:

- Convertir las variables categóricas en dummies y eliminar una columna para evitar problemas de multicolinealidad.
- Dividir el conjunto de datos en conjuntos de entrenamiento y prueba.
- Realizar un rebalanceo de la variable de respuesta para solucionar el problema de desbalanceo. Se probaron técnicas de sobre muestreo (over sampling) y de sub muestreo (under sampling).

- Realizar una normalización de las variables numéricas, principalmente para aquellas en las cuales son campos de dinero, los cuales puedes estar expresados en millones de pesos. En general se aplicó a todas las variables numéricas.
- Realizar una reducción de dimensionalidad mediante el análisis de componentes principales PCA.
- Seleccionar las características más importantes mediante un modelo de selección de características (por ejemplo, un modelo de regresión logística con regularización L1)
- Entrenamiento de distintos modelos de clasificación (Random Forest y Redes neuronales con y sin RandomGridSearchCV.

2. Ajustes de Hiperparámetros

Como se comentó, entre los modelos que se probaron están los de Random Forest y Redes Neuronales, los cuales se combinaron con técnicas de sobremuestreo o submuestreo y con calibración de hiperparámetros con Random Grid Search CV.

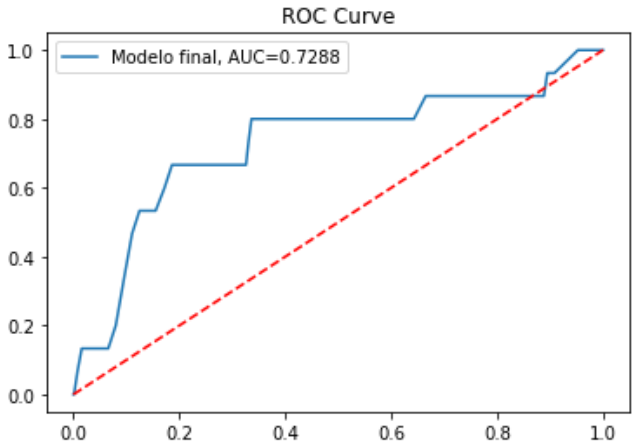
Dicho esto, se recrearon 15 modelos aleatorios con una validación cruzada de 3KFolds, haciendo una búsqueda aleatoria entre diferentes hiperparámetros que según la teoría son bastante influyentes en los resultados de los modelos que se presentan a continuación;

- Random Forest Classifier con datos luego de aplicar Over Sampling.
- Random Forest Classifier con datos luego de aplicar Under Sampling.
- Redes Neuronales aplicando pesos diferentes a las clases como método de balanceo.

De esta forma, al final de las corridas nos quedamos con un total de 45 modelos posibles, para los cuales en cada uno se contaba con el promedio y la desviación de los 3 KFolds en cada una de las métricas especificadas en el documento (incluyendo el ROC, la sensibilidad y la precisión). Todos estos datos se encuentran en el archivo de Excel adjunto, el cual permite obtener los resultados individuales y la comparación.

Uno de los ejemplos de lo que podíamos esperar al final del ejercicio se presenta a continuación;

- **Random Forest Classifier & Under Sampling**




```
[[4529 3161]
 [   3   12]]
Accuracy: 0.589
Precision: 0.004
Recall score: 0.800
F1-score: 0.008
ROC AUC score: 0.729
```

Fig. 10. *Resultados de RF con Undersampling.*

3. Selección de modelo final (variables, métricas y parámetros)

Ya con todos los resultados de los 45 modelos, lo que se hizo fue ordenarlos haciendo uso de la métrica de sensibilidad, dejando entonces un top 5 de modelos tal y como se muestra en la siguiente tabla;

Indice Modelo	mean_test_accuracy	std_test_accuracy	mean_test_precision	std_test_precision	mean_test_recall	std_test_recall
RFC_OS_8	0.894	0.065	0.654	0.458	0.848	0.143
RFC_OS_6	0.992	0.008	0.684	0.442	0.843	0.221
RFC_OS_12	0.992	0.008	0.684	0.443	0.843	0.221
RFC_OS_3	0.889	0.066	0.654	0.458	0.843	0.141
RFC_OS_5	0.889	0.066	0.654	0.458	0.843	0.141

De esta forma, tal y como habíamos venido mencionando desde la sección de métricas, la idea es entonces seleccionar el modelo que mejor sensibilidad presente, ya que este nos permitirá capturar la mayor cantidad posible de proyectos multados dentro del ejercicio.

Por lo tanto, se llega a la conclusión de que el mejor modelo dentro de los 45 entrenados para nuestro contexto específico es un Random Forest con técnica de Over Sampling para rebalanceo de clases y presentando los siguientes parámetros;

- Numero de estimadores: 100
- Mínimo de proyectos para un split: 2
- Máxima profundidad en cada estimador: 5

Entrenando este modelo y haciendo la proyección sobre los datos de testeo, encontramos la siguiente curva ROC como resultado;

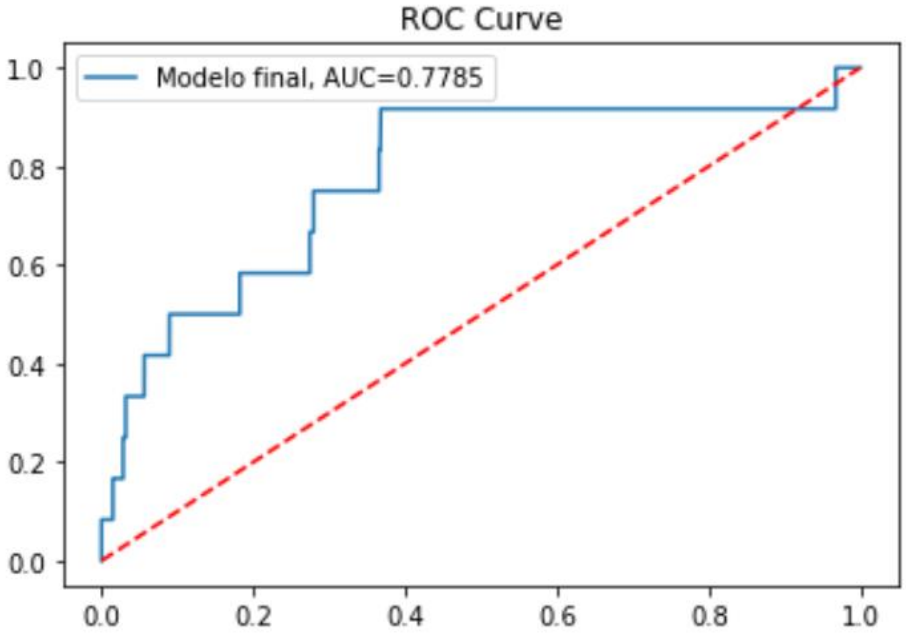


Fig. 11. *Curva ROC modelo seleccionado.*

En conclusión, encontramos un modelo con una curva ROC de 0.78, para el cual implementamos una respuesta a modo de semáforo, ya que se identificaron dos puntos de corte en el threshold que nos permiten sacar conclusiones muy interesantes.

Lo anterior significa que para aquellos proyectos que el modelo genere una calificación por encima de 0.5 serán considerados como proyectos Rojos, y representan aquellos que probablemente sean multados. Por otro lado, cuando el puntaje está dentro de 0.2 hasta 0.5, la clasificación del proyecto será de Amarillo, lo cual representa que probablemente este modelo tenga una probabilidad moderada de ser multado. Finalmente, todos aquellos con puntaje menor a 0.2 son considerados como verdes y representan los que se espera que no sean multados.

La clasificación final que se obtiene al hacer uso de esta clasificación es la que se muestra en la siguiente matriz;

	Multado	**Sin multar**
Verde	5	4,581
Amarillo	5	1,017
Rojo	4	241

Con esto concluimos que el modelo se encuentra listo para ser desplegado y utilizado para la proyección de cuando los proyectos nuevos en licitación pueden ser o no multados.

4. Plan de Implementación del prototipo entregable

a. Trabajo Validado y listo para el Prototipo

i. Modelo de datos y primera versión de la ETL

Luego de identificar las fuentes de datos necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto, se crearon 3 notebooks de Python que sirvieron para la extracción de los datos desde la fuente, usando Socrata.

ETL	Links
Contratos Electrónicos	Link a repositorio
Procesos de Contratación	Link a repositorio
Multas y Sanciones	Link a repositorio

En resumen, los pasos ejecutados por las ETL anteriores son:

- Se importan librerías base, entre ellas Socrata
- Se realiza la conexión a la base de datos del proyecto, creada en Azure.
- Se realiza la conexión al servicio del gobierno para extraer los datos.
- Se trunca la tabla de staging (aquellas que empiezan con *Test_*) (son 3, una por cada fuente)
- Se cargan los datos desde el API a la tabla de staging (se filtra por *Obra* para Contratos Electrónicos y Procesos de Contratación. Se carga todos los datos de Multas y Sanciones)
- Se cierran las conexiones.

Luego, usando Scripts en SQL, creamos 3 tablas *Prod_*, que en la dinámica del proyecto son la transformación de las tablas de staging a tablas de negocio propiamente dichas. Este paso es necesario ya que las ETL en Python cargaron la totalidad de los datos como cadenas de caracteres y es claro que muchos de los campos tienen otros tipos, como enteros o fechas. También es necesario reemplazar los “none” y “nan” por NULL en todos los campos.

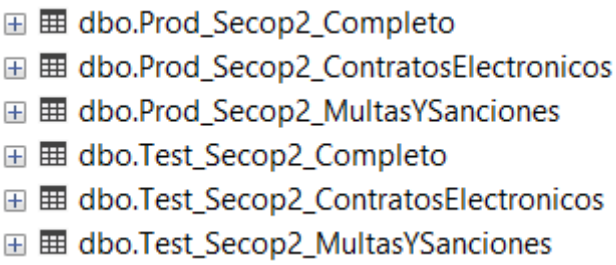


Fig. 12. *Tablas finales creadas para Staging y Tablas de negocio limpias.*

Finalmente, utilizando StoredProcedures y Vistas (Los objetos se encuentran acá) se procede a la creación y carga de las tablas del modelo en estrella. Las dimensiones de Fecha y Geografía se cargaron de manera independiente (Cargando las fechas diarias desde 1985 hasta 2057 y la totalidad de los municipios de Colombia). Todas estas tablas cuentan con llaves primarias generadas al momento de la carga, a excepción de la tabla de Hechos que no cuenta con llave primaria, pero si hace referencia a llaves surrogadas de todas las

dimensiones. Para las dimensiones de Entidad, Contratista, ProcesoContrato y HechoProcesoContrato, su carga es derivada directamente de las tablas *Prod_*.

Se adjunta un ejemplo de los datos cargados al modelo en estrella, así como su representación gráfica final.

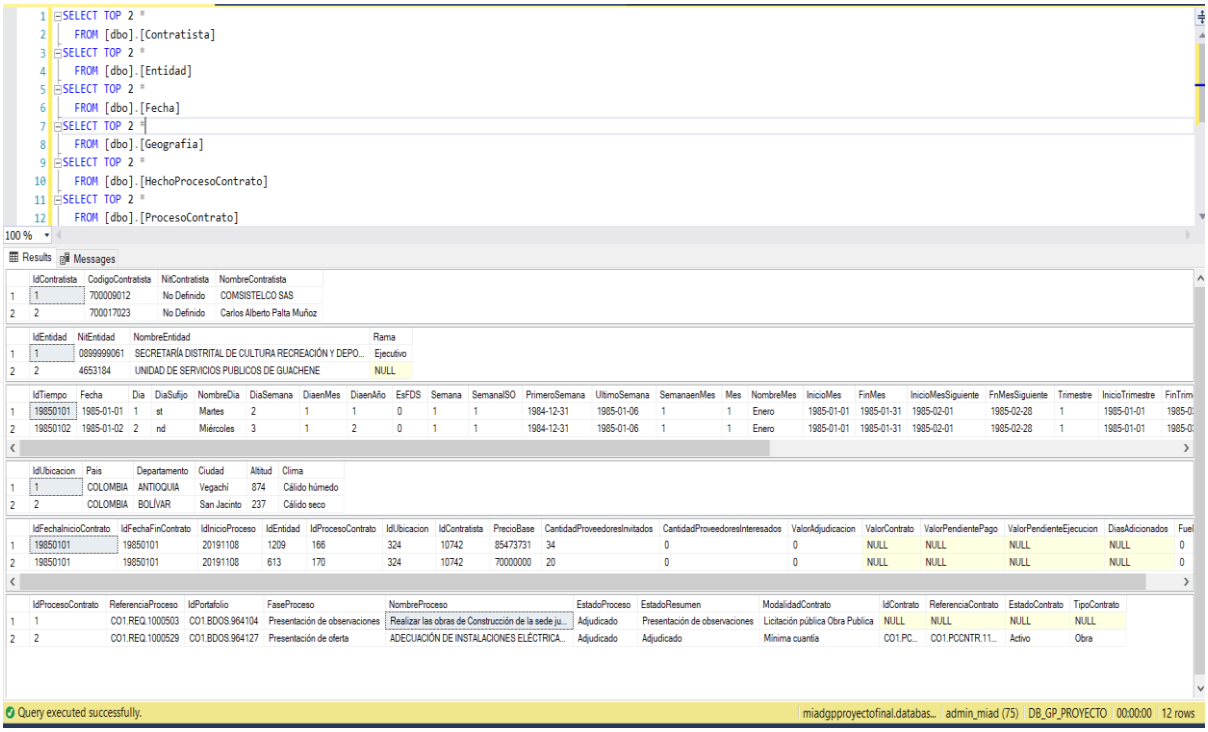


Fig. 13. *Ejemplos de datos cargados en el modelo en estrella.*

Nombre Dimensión/Hechos	**Granularidad**	**Fuente de datos y tipo de llaves**
Geografia	Ciudad (únicamente ciudades colombianas)	Fuente de datos externa (Inserts con los 1104 municipios). Llave primaria surrogada.
Fecha	Fecha	Fuente de datos externa (Script generador de fechas). Llave primaria es la fecha en formato yyyymmdd
Entidad	Entidad (Usando NIT como identificador de Negocio)	Contratos Electrónicos Procesos de Contratación Llave primaria surrogada.
Contratista	Proveedor/Contratista (Usando Código de Contratista como identificador de Negocio)	Contratos Electrónicos Procesos de Contratación Llave primaria surrogada.

ProcesoContrato	Proceso y/o Contrato (En la parte siguiente de pruebas se explica esto con más detalle)	Contratos Electrónicos Procesos de Contratación Llave primaria surrogada.
HechoProcesoContrato	Proceso y/o Contrato	Contratos Electrónicos Procesos de Contratación Multas y Sanciones Llaves foráneas a todas las dimensiones

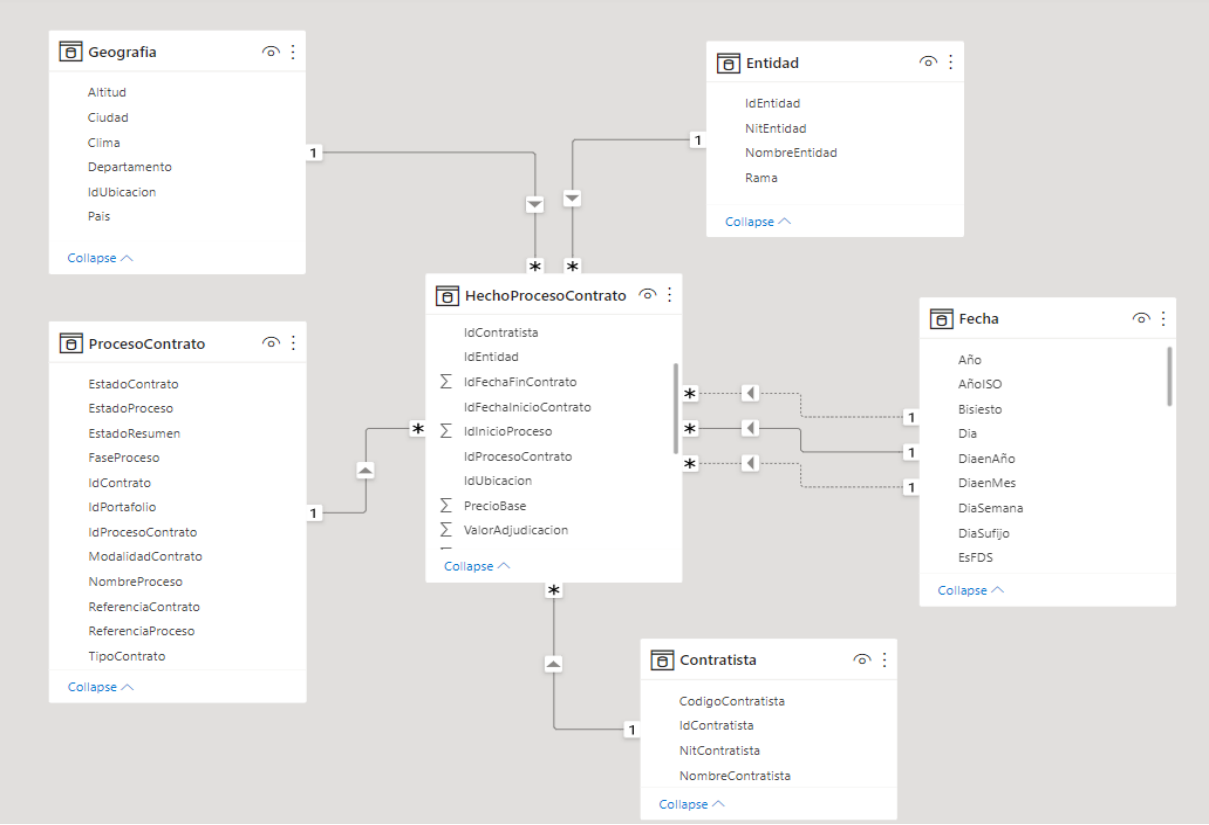


Fig. 14. *Modelo en estrella final con los atributos seleccionados por dimensión y sus relaciones con la tabla de Hechos. La relación triple de Fecha contra la tabla de Hechos permite filtrar por Fecha de Publicación de Proceso, Fecha Inicio de Contrato o Fecha Fin de Contrato*

ii. Pruebas sobre el modelo de datos

1. Contratos electrónicos: Al descargar los datos desde la página del SECOP, se pudo observar que las variables no tenían el tipo de variable correcto. Todas las variables eran de tipo texto a pesar de que algunas variables eran numéricas, fechas, etc. Por lo tanto, el primer paso fue convertir cada variable a su tipo de datos respectivo sin perder información. Para esto, se hicieron las siguientes validaciones:

Criterio	Antes de la conversión de las variables a su tipo de datos respectivo	Después de la conversión de las variables a su tipo de datos respectivo
# de filas	20.895	20.895
Valores únicos de la variable “Rama”	Ejecutivo, corporación autónoma, judicial, legislativo	Ejecutivo, corporación autónoma, judicial, legislativo
Cantidad de valores nulos	63.419	63.419

Adicionalmente, se contaron la cantidad de contratos que pertenecían a cada rama. En el siguiente gráfico se pueden ver los resultados:

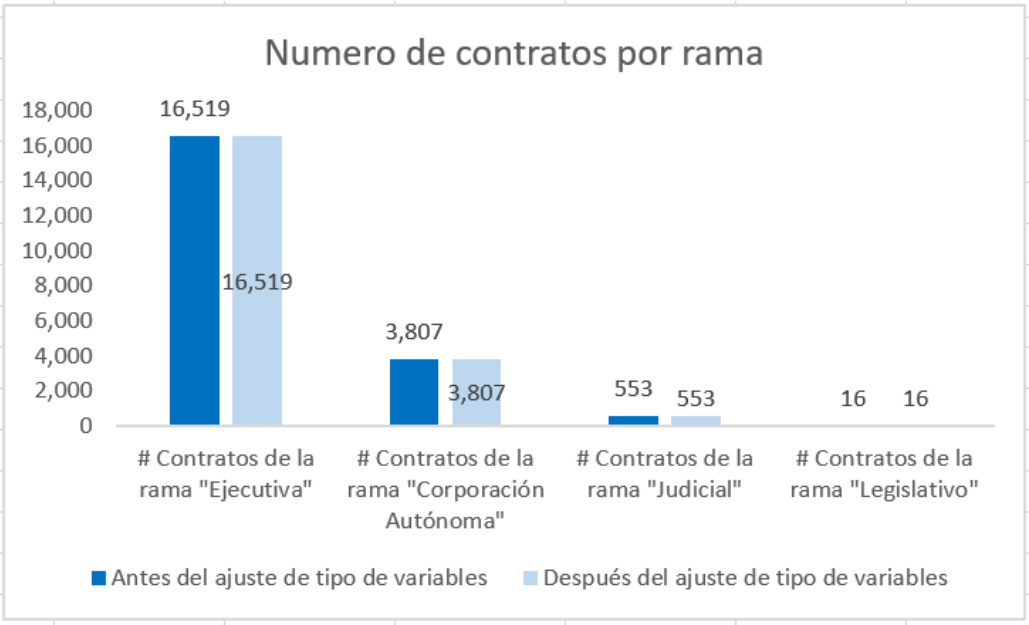


Fig. 15. *Comparativo de datos entre las tablas de staging y las tablas finales.*

2. Multas y sanciones**:** Al descargar los datos desde la página del SECOP, se pudo observar que las variables no tenían el tipo de variable correcto. Todas las variables tenían el formato de texto a pesar de tener variables numéricas y fechas. Por lo tanto, el primer paso fue convertir cada variable a su tipo de datos respectivo sin perder información. Para esto, se hicieron las siguientes validaciones:

Criterio	Antes de la conversión de las variables a su tipo de datos respectivo	Después de la conversión de las variables a su tipo de datos respectivo
# de filas	486	486
Valores únicos de la variable “Versión"	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,25	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,14,25
Cantidad de valores nulos	734	746

La cantidad de valores nulos es diferente ya que la variable “Aplico Garantías” tenía las opciones de “True”, “False” o “None”. Sin embargo, al ajustar los tipos de variables se agruparon los “None” y los “False”. Por lo tanto, antes del ajuste de los tipos de variables habían 10 nulos adicionales. Sin embargo, es importante mencionar que esta variable “Aplico Garantías” no se usa en nuestros análisis.

3. Procesos de contratación**:** Al descargar los datos desde la página del SECOP, se pudo observar que las variables no tenían el tipo de variable correcto. Todas las variables tenían el formato de texto a pesar de tener variables numéricas y fechas. Por lo tanto, el primer paso fue convertir cada variable a su tipo de datos respectivo sin perder información. Es importante mencionar, que nuestros análisis serán relacionados únicamente con los contratos de tipo obra, por lo que se debía verificar que solo teníamos contratos tipo “Obra”. Para esto, se hicieron las siguientes validaciones:

Criterio	**Antes de la conversión de las variables a su tipo de datos respectivo**	**Después de la conversión de las variables a su tipo de datos respectivo**
# de filas	40.917	40.917
Valores únicos de la variable “Tipo Contrato”	Obra	Obra
Valores únicos de la variable “Orden Entidad”	Nacional, Territorial, Corporación Autónoma	Nacional, Territorial, Corporación Autónoma
Cantidad de valores nulos	135.811	135.811

Después de tener todos los datos con el tipo de dato correcto, se construyeron 2 tablas fundamentales para nuestros análisis posteriores. La primera tabla es “MultaProcesoContrato” en donde se encuentran todos los contratos y procesos de tipo Obra que fueron multados. Por lo tanto, se unieron las 3 fuentes de datos mencionadas anteriormente. Para validar que no se haya perdido información en la unión de las diferentes fuentes de datos se tomaron los siguientes pasos:

1. Se encontraron los contratos que fueron multados (unión entre “Multas y sanciones” y “Contratos Electrónicos” a través de la variable “ID Contrato”)
2. Se encontraron los procesos que fueron multados (unión entre “Multas y sanciones” y “Procesos” a través de la variable “Referencia del proceso”)
3. Se encontraron los valores únicos de los contratos y procesos que fueron multados en los pasos anteriores.
4. Se verifica que la tabla “MultaProcesoContrato” tenga la misma cantidad de procesos y contratos únicos multados encontrados en el paso 3.

Criterio	**Fuente de datos Contratos Electrónicos**	**Fuente de datos Proceso**	**Nueva tabla llamada “MultaProcesoContrato”**
# Contratos multados	27	N/A	27

# Contratos multados	N/A	39	39

La segunda tabla fundamental para nuestros análisis es “ProcesoContrato” que es la unión entre las fuentes de datos “Procesos” y “Contratos electrónicos”. Para la construcción de esta tabla se tomaron todos los procesos de la fuente de datos “Procesos” y se buscó su respectivo contrato en la fuente de “Contratos electrónicos”. Esta tabla contiene incluso los procesos que no tienen un contrato respectivo o contratos que no tienen un proceso asociado. Por lo tanto, el número de procesos encontrados en la fuente de datos “Procesos” debe ser igual al número de procesos de la nueva tabla “ProcesoContrato”

Criterio	**Fuente de datos “Procesos”**	**Nueva tabla llamada “ProcesoContrato”**
# Procesos únicos	24.559	24.559

Finalmente, se construyó una sábana de datos uniendo las últimas dos tablas mencionadas anteriormente (MultaProcesoContrato y ProcesoContrato). Es decir que se construyó una tabla final llamada “SabanaAnalitica” que sería la unión de todas las fuentes de datos. El principal objetivo de esta tabla final es servir como entrada para el análisis de ML realizado con el fin de pronosticar futuros proyectos que potencialmente podrían ser sancionados, así como servir de fuente para las dimensiones *ProcesoContrato* y *HechoProcesoContrato* descritos anteriormente. Se hicieron las siguientes validaciones:

Criterio	**Tabla “ProcesoContrato”**	**Nueva tabla llamada “SabanaAnalitica”**
# Contratos únicos	20.892	20.892
# Procesos únicos	36.986	36.986

Los scripts de SQL utilizados para la construcción de los objetos se pueden encontrar en este link. El notebook usado para las pruebas se puede encontrar acá.

iii. Primer Borrador del Tablero

Se cuenta con una primera versión del tablero, que por restricciones con el sitio powerbi.com y con la licencia que se cuenta, no permiten exponerlo al público general. Sin embargo, en el repositorio contamos con dos archivos: El archivo PBI propiamente dicho y un archivo en PDF que muestra el avance parcial obtenido. De este tablero vale la pena mencionar que faltan detalles de narrativa, UI/UX que serán completados para la entrega final. Lo adjuntamos en esta sección ya que es la muestra concreta del uso de los datos extraídos en los procesos anteriores.

b. Pendientes por implementar

i. Alimentación de los resultados del pronóstico al modelo en estrella.

Una vez seleccionado el modelo, se debe almacenar las predicciones realizadas por el mismo para proyectos con fechas superiores a 2023. Para esto, se debe realizar un script en Python que cambie a 1 el valor de la columna *FueMultado* de la tabla *HechoProcesoContrato* a

aquellos *ProcesoContrato* que aplique. Con esto y con el manejo de filtros ya definidos en el tablero, se mostrará al usuario únicamente aquellos proyectos que son sensibles a ser afectados por una multa o sanción en un futuro. Este script de Python debe tener en cuenta las llaves surrogadas que son las que identifican cada registro en la tabla de Hechos, así como también tener en cuenta que algunos procesos o contratos pueden tener uno o más proveedores asociados en la tabla de Hechos.

ii. Elaboración de encuestas y recolección de resultados

Una vez finalizado el desarrollo del tablero, elaboraremos la encuesta que servirá para medir el nivel de comprensión inicial (antes de usar el tablero) y final (luego de usarlo) de algunas personas del público general. La idea es poder medir el cambio en su conocimiento sobre los procesos de contratación estatales. Por cuestiones de tiempo y recursos, tenemos como meta realizar la encuesta entre 10 y 20 personas y luego de obtener sus resultados, consolidaremos los resultados para la presentación final.

iii. Construcción de presentación final y pitch

Elaboraremos una presentación corta en la cual consolidaremos las principales conclusiones y logros obtenidos a lo largo del proyecto. También listaremos potenciales pasos futuros para continuar con la evolución de este prototipo.

5. Bibliografía

- Accuracy y Recall - https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/precision-and-recall?hl=es-419
- F1 Score - https://towardsdatascience.com/accuracy-precision-recall-or-f1-331fb37c5cb9
- ROC y AUC - https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/model_selection/plot_roc.html