
Predicción de golpes de estado en el siglo xxi

José Saint Germain
joesg998@gmail.com

- 1 **Especialización en exploración de datos y descubrimiento del co-**
- 2 **nocimiento**
- 3 **Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**
- 4 **Universidad de Buenos Aires**



5 Índice

6	1. Introducción	3
7	1.1. Motivación	3
8	1.2. Estructura del documento	3
9	2. Marco Teórico y estado del arte	3
10	2.1. La Teoría de la Modernización y sus variantes	3
11	2.2. Teoría de la Dependencia y el Subdesarrollo	4
12	2.3. Estado burocrático autoritario	5
13	2.4. Enfoques empíricos	6
14	2.5. Conclusión	6
15	3. Metodología	7
16	3.1. Algoritmos de predicción	7
17	3.2. Métrica de evaluación	7
18	3.3. Optimización de hiperparámetros	7
19	3.4. Block-time-series cross-validation	8
20	3.5. Valores Shapley	8
21	3.6. Ingeniería de atributos	8
22	3.7. Análisis Exploratorio de Datos	8
23	4. Resultados y discusión	12
24	4.1. Performance de los modelos	12
25	4.2. Análisis de variables	13
26	4.3. Discusiones	15
27	5. Conclusiones	16
28	6. Anexo	16
29	6.1. Código	16
30	6.2. Golpes	16
31	6.3. Gráficos y tablas adicionales	16

32 1. Introducción

33 El objetivo de este trabajo es lograr entrenar un modelo de aprendizaje automático que logre predecir
34 la presencia de golpes de estado durante los años 2020 a 2022 en todos los países del mundo a
35 partir de la utilización de la base de datos provista por la fundación Varieties of Democracy (V-Dem)
36 (Coppedge, Gerring, Knutsen, Lindberg et al., 2024). A su vez, se busca comparar la performance
37 de los algoritmos entrenados con los utilizados por el artículo realizado por Cebotari et al (Cebotari
38 et al., 2024), el cual utilizó una mayor variedad de fuentes. Adicionalmente, este trabajo busca tener
39 una noción acabada de las variables más importantes que los algoritmos utilizan para la predicción de
40 la variable objetivo, aprovechando que la base de datos cuenta mayoritariamente solo con variables
41 ligadas a lo político-institucional.

42 1.1. Motivación

43 La motivación de este trabajo es dialogar con el artículo recientemente realizado por el Fondo
44 Monetario Internacional (FMI) Cebotari et al., 2024. En el mismo se aborda el mismo objeto de estudio
45 utilizando diversas metodologías, siendo una de ellas la utilización de algoritmos de aprendizaje
46 automático. En este trabajo se replicó la metodología utilizada en esa sección; comparando los
47 mismos modelos, sus respectivos hiperparámetros y la métrica a maximizar durante su entrenamiento

48 La principal diferencia entre el paper del organismo y este trabajo radica en el origen de los datos.
49 Por un lado, el artículo del FMI utilizan 14 fuentes provenientes de diferentes organismos, de manera
50 de cubrir 5 grupos de variables sobre diferentes ámbitos (Desarrollo y demografía, Inclusión y
51 gobernanza, macroestabilidad, políticas públicas, estabilidad sociopolítica). En cambio, este trabajo
52 utilizará solamente la base de datos v-dem por dos motivos: en primer lugar, para abarcar solamente
53 variables que estén directamente ligadas a la situación política e institucional de los países, excluyendo
54 en la medida de lo posible atributos ajenos a este ámbito. En segundo lugar, para realizar una
55 comparación con las nutridas y variadas fuentes del artículo citado. De esa manera, podemos tener
56 una noción del poder predictivo de atributos puramente político-institucionales frente a un abanico
57 más diverso de variables.

58 1.2. Estructura del documento

59 - Explicación de la estructura del trabajo (se realizará una vez que esté completado)

60 2. Marco Teórico y estado del arte

61 El estudio de los golpes de estado, así como los procesos de democratización han sido una preocupa-
62 ción central para la ciencia política moderna durante el siglo xx. Diversas teorías se han desarrollado
63 de manera de aprehender los causales de la democratización de un país así como de su proceso
64 inverso, ya sea una erosión democrática gradual o un golpe de estado autoritario; así como los
65 elementos sociales, culturales e institucionales que pueden evitar o disminuir la probabilidad de que
66 se produzcan estos fenómenos.

67 2.1. La Teoría de la Modernización y sus variantes

68 Uno de los primeros marcos para comprender la inestabilidad política que llevaba a un golpe
69 institucional fue la teoría de la modernización, popularizada a mediados del siglo xx. Entre los
70 exponentes de esta teoría se encuentra Seymour Martin Lipset quien con su artículo "*Some social
71 requisites of democracy: economic development and political legitimacy*" (1959). Desde un enfoque
72 sociológico, argumenta que el grado de desarrollo económico de una sociedad es una condición
73 necesaria para el nacimiento y consolidación de un régimen democrático, principalmente porque
74 una sociedad dividida entre una masa empobrecida y una élite rica es más propensa a generar una
75 oligarquía (dictadura del estrato superior de la sociedad) o una tiranía (dictadura basada en el estrato
76 inferior).

77 Para medir el desarrollo económico, Lipset analiza y desagrega cuatro variables: el nivel de riqueza,
78 medido por pbi per cápita y por la cantidad de personas con vehículos de motor, radios, teléfonos y
79 diarios cada mil personas; el grado de industrialización, medido por el porcentaje de trabajadores

80 hombres en la agricultura y el nivel de energía utilizado per cápita (en toneladas de carbón); el
81 nivel de urbanización, medido en índices realizados previamente; así como el nivel educativo de la
82 población, del cual toma principalmente la tasa de alfabetización. El autor subraya este último factor,
83 exponiendo que si no es una condición suficiente para la democracia, es una condición necesaria.

84 A su vez, Lipset describe cambios subyacentes en los diversos estratos sociales producto del desarrollo
85 económico. En primer lugar, se desarrolla una suerte "lucha de clases" por parte de la clase baja, ya
86 que mayores tasas de alfabetización y bienestar económico genera una visión más largoplacista y
87 compleja de la política, desarrollando una ideología secular reformista y gradualista en la clase obrera.
88 En segundo lugar, una clase media fortalecida y ensanchada por el crecimiento económico juega un
89 papel mitigador del conflicto, penalizando extremismos y apoyando movimientos más moderados y
90 democráticos. Por último, en una sociedad en donde las diferencias económicas entre clases sociales
91 se moderan, se atenúan las percepciones negativas de las clases altas hacia las bajas, volviéndolas
92 más tolerantes a compartir el poder y a otorgar derechos al resto de la sociedad. Por último, en una
93 sociedad con mayor riqueza económica se expande la presencia de organizaciones intermedias e
94 instituciones como fuentes de contrapeso al poder.

95 Si bien el desarrollo económico, caracterizado en los párrafos anteriores, se torna una condición
96 mínima para la consolidación democrática, Lipset subraya dos condiciones suficientes para lograr
97 su estabilidad en el tiempo: la efectividad del sistema político -entendida como la performance del
98 sistema político para resolver problemas- y la legitimidad -es decir, la capacidad de lograr la creencia
99 de que la existencia de instituciones políticas es deseable para el conjunto de la sociedad. Una crisis de
100 legitimidad, por lo tanto, es contemplada como un factor de inestabilidad para un sistema democrático.
101 Este tipo de crisis, según el autor, pueden surgir de determinados cambios en la estructura social:
102 cuando todos los grupos mayoritarios no se aseguran el acceso al sistema político de manera temprana
103 en un período de transición, o cuando el estatus de las instituciones conservadoras es amenazado.

104 Una variante de la teoría de la modernización fue planteada por Samuel Huntington en *Political*
105 *Order in Changing societies* (1968), quien mueve el foco de lo social hacia lo político. Para el
106 autor, el crecimiento económico acelerado puede generar tensiones y conflictos que desafían la
107 estabilidad política. En el contexto de Guerra Fría en que Huntington escribe esto, sostiene que esta
108 inestabilidad puede ser aprovechada por la política revolucionaria impulsada por los comunistas.
109 Por eso, considera necesaria una intervención (generalmente a través de las Fuerzas Armadas)
110 para controlar esa inestabilidad y lograr construir instituciones políticas que manejen las tensiones
111 asociadas al proceso de modernización. En este sentido es crítico a la teoría de Lipset, puesto que no
112 piensa que la estabilidad política es una consecuencia natural e inevitable del desarrollo económico y
113 de las reformas sociales. Esto se logrará si están combinadas con oportunidades de movilidad social y
114 económica ascendente e instituciones políticas flexibles por las cuales se canalice el aumento de la
115 participación.

116 2.2. Teoría de la Dependencia y el Subdesarrollo

117 Como contraposición a la teoría de la modernización, para analizar las tendencias de desarrollo y
118 autocratización de naciones del tercer mundo, se desarrolló la denominada teoría de la dependencia.
119 En sus distintos enfoques, la teoría de la dependencia explica que el atraso relativo de América Latina
120 y el desarrollo de las economías centrales (fundamentalmente Estados Unidos y Europa Occidental)
121 no son independientes sino complementarios. Estos procesos están vinculados por su inserción en
122 la economía mundial, el cual desfavorece a los exportadores de materias primas e importadores de
123 productos manufacturados, favoreciendo la extracción de sus recursos e inhibiendo el desarrollo de
124 sus economías.

125 La variante más extendida de esta teoría fue formulada por Fernando Henrique Cardoso y Enzo
126 Faletto en *Dependencia y Desarrollo en América Latina* (1979). Allí, matizan las aseveraciones de la
127 teoría, indicando que la inserción de las economías latinoamericanas en la economía internacional
128 no determina su trayectoria sino que incide a través de la estructura social y económica asociada a
129 un tipo de actividad de exportación (en América Latina: agrícola, ganadera y minera). Esta relación
130 de dependencia está conformada por una red de intereses y de coacciones que ligan unos grupos
131 sociales a otros. Allí, el puente de las sociedades latinoamericanas con el capital extranjero es el
132 sector exportador de materias primas. En diversas medida y forma, este sector logra insertarse en el
133 mercado mundial a la vez que logra mantener el control sobre la sociedad local, ya sea imponiéndose
134 o bien negociando con sectores mercantiles internos.

135 En los casos donde los sectores internos lograron cierto espacio de desarrollo, se generaron nuevos
136 grupos sociales (artesanos, pequeños comerciantes, profesionales, sectores vinculados a los servicios,
137 entre otros). En función de ese mercado, se constituyen los primeros núcleos industriales, y se forman,
138 en consecuencia, tanto una burguesía urbana como sectores obrero-populares; así, en un primer
139 momento, los grupos sociales urbano-industriales se constituyen siguiendo la expansión del sector
140 exportador y sin que sus intereses económicos se opongan a los de éstos, sino que, por el contrario,
141 pasan a ser un sector complementario de aquél. En cambio, en los países con predominio de economía
142 de enclave, en donde los sectores exportadores tuvieron primacía total sobre los sectores internos, no
143 se generaron sectores medios. Allí, la relación de subordinación política de los grupos dominantes
144 y, a partir de ellos, de las empresas extranjeras se da de manera más directa sobre los obreros y
145 campesinos. En este tipo de países, se logró una preocupación sobre políticas centradas en el mercado
146 interno cuando ya existía una clase media previa a la inserción en el mercado mundial (como en
147 Chile) o cuando los sectores medios lograron insertarse de manera revolucionaria (mediante golpes
148 de estado) dentro del aparato del Estado y lo utilizaron para crear una economía nacional (México y
149 Venezuela).

150 En ambas situaciones, en los momentos en que los intereses de los sectores exportadores fueron
151 puestos en tela de juicio fue cuando la inestabilidad política se hizo presente, derivando en algunos
152 casos en golpes de estado por parte de las fuerzas armadas. En las naciones con economías de enclave
153 sucedió, por ejemplo, con la crisis económica de 1930 ante la falta de respuestas del modelo al
154 aumento del desempleo y a la falta de respuestas por parte del Estado (como si ocurrió en con sectores
155 internos más robustos). En cambio, en los países con sectores medios más fuertes, la inestabilidad
156 política emergió varios años después. Allí gobiernos de corte populista lograron utilizar el estado
157 para fortalecer la industria nacional y los sectores medios, y los golpes de estado se expresaron como
158 una búsqueda del sector agroexportador de volver a imponer su modelo vinculado estrechamente con
159 el mercado global.

160 En definitiva, Cardoso y Faletto aportan una teoría más compleja al incluir factores históricos,
161 coyunturales y productivos en la trayectoria de cada uno de los países de América Latina; evidenciando
162 que sus momentos de inestabilidad están fuertemente ligados a los procesos previos de incorporación
163 al mercado mundial. Una de las principales críticas es su excesivo foco en América Latina, puesto
164 que hay casos de países que lograron un desarrollo exitoso rompiendo el ciclo de dependencia, siendo
165 el mayor contra ejemplo los llamados "tigres asiáticos".

166 2.3. Estado burocrático autoritario

167 Desde un ángulo diferente, Guillermo O'donnell también propició algunas críticas a la teoría de
168 la modernización observando los procesos en países de América del Sur. En *Modernización y*
169 *autoritarismo* (1972), O'donnell sostiene que la modernización económica no necesariamente lleva a
170 la democratización política. En su lugar, puede llevar a la consolidación de regímenes autoritarios
171 burocráticos, en los cuales el poder político está concentrado en las fuerzas armadas y en la burocracia
172 estatal. En estos regímenes, la participación política está restringida y la oposición es reprimida, pero
173 a diferencia de los regímenes totalitarios, la sociedad civil y la economía pueden ser relativamente
174 autónomas.

175 Estos estados burocráticos autoritarios, cuyos ejemplos más claros encontró en los regímenes militares
176 de Brasil desde 1964 y Argentina entre 1966 y 1973, surgen a partir de los límites macroeconómicos
177 encontrados por la industrialización por sustitución de importaciones, impulsado por una coalición
178 social formada por una burguesía industrial focalizada en el sector de bienes de consumo y los
179 sectores medios urbanos. La industrialización impulsada por la crisis del 30 apuntó fundamentalmente
180 a satisfacer la demanda de bienes de consumo faltantes por la depresión y la posterior guerra mundial.
181 Este desarrollo no trajo consigo una ampliación en la producción de bienes intermedios y de capital,
182 lo cual produjo que esta etapa de la industrialización venga aparejada de una fuerte necesidad de
183 divisas para importación de bienes de capital, lo cual lleva en el mediano plazo a una crisis en la
184 balanza de pagos, una estructura productiva distorsionada y altas expectativas de consumo.

185 Este proceso llevó a la conclusión de que para poder continuar con un desarrollo industrial era
186 necesario la postergación de las demandas de participación en el consumo así como en el poder
187 político del sector popular urbano. Esta conclusión generó un péndulo en la configuración de las
188 coaliciones sociales: el sector empresario industrial y los sectores agroexportadores se unieron para

189 bloquear la participación de sectores populares mediante la instauración de un régimen autoritario
190 que sea administrado por una tecnocracia capacitada.

191 El trabajo de O'donnell significó un contrapunto importante a las teorías precedentes y contempo-
192 ráneas a su tiempo, logrando evidenciar como un acelerado proceso de modernización económica
193 puede derivar a golpes de estado que generen autoritarismos; aunque, a diferencia de la teoría de la
194 dependencia, no se da directamente por la influencia del mercado mundial en las elites sino por la
195 búsqueda de las mismas de generar un desarrollo económico por vía autoritaria. A pesar de la enorme
196 precisión para describir los procesos autoritarios de Brasil y Argentina en la década de 1960, la teoría
197 de O'donnell encontró serios problemas para explicar procesos de autoritarismo futuros, tanto en la
198 misma Argentina en 1976 como la de Chile en 1973, en dónde la coalición y el enfoque económico
199 de los golpes de estado estaban más relacionado con un enfoque neoliberal y de libre mercado más
200 que con un desarrollismo por vía autoritaria.

201 **2.4. Enfoques empíricos**

202 Casi medio siglo desde las primeras publicaciones de Lipset, Przeworski et al (2000) a partir de
203 una exhaustiva recolección de datos sobre el devenir histórico de los distintos países entre 1950 y
204 1990, los autores llegan a una serie de conclusiones sobre la relación entre desarrollo económico y
205 democracia. En primer lugar, consideran que si bien el desarrollo económico per se no conduce a una
206 democratización, si es verdad que las democracias en países en vías de desarrollo son mucho más
207 frágiles e inestables que en los países desarrollados. En segundo lugar, las democracias no producen
208 una disminución de la inversión en el país; en especial si es un país pobre, ya que para los autores no
209 hay mucho que el Estado pueda hacer para modificar esa tendencia. Por lo tanto, no hay evidencia que
210 indique que haya que sacrificar la democracia para alcanzar el desarrollo: los países que lo lograron
211 podrían haberlo hecho tanto en una democracia como en una dictadura.

212 Por último, los autores utilizan la información recolectada para predecir la situación de las democra-
213 cias y autoritarismos para el año 2030. Por un lado, afirman que tanto el pbi per cápita va a aumentar
214 (2,5 veces mayor al de 1990) como que las dictaduras van a ser casi inexistentes. De todas formas,
215 algunas pocas dictaduras prevalecerán en algunos países pobres, especialmente en África; así como
216 también predicen para este continente que será el único lugar donde seguirán aconteciendo conflictos
217 bélicos.

218 **2.5. Conclusión**

219 A lo largo de la historia de la ciencia política del siglo xx y xxi se observa una preeminencia de
220 la temática asociada a la democratización y al desarrollo. Cada autor desde su perspectiva teórica
221 así como del análisis de experiencias históricas ha intentado rescatar los factores que habilitan y
222 fortalecen un sendero democrático, así como aquellos que impiden su consolidación. Haciendo un
223 recorrido por todos los autores tratados en esta sección podemos rescatar que la eficiencia del Estado
224 para resolver problemas políticos así como su legitimidad son factores relevantes para la estabilidad
225 de un régimen democrático. Adicionalmente, comprender el contexto socioeconómico y la trayectoria
226 histórica de un país se vuelve fundamental para comprender los límites que encuentran los países
227 periféricos para alcanzar el desarrollo económico y político. Finalmente, los aportes de Przeworski
228 et al son críticos para no dejarse llevar por asentados axiomas que determinan la postergación
229 democrática en pos de un desarrollo económico rápido.

230 Como cierre, es importante destacar que si bien los golpes de estado rondan permanentemente en el
231 desarrollo de estas teorías, no figuran estudios relevantes que se hayan concentrado exclusivamente
232 en su estudio, así como en sus motivadores. Es por eso que el artículo realizado por Cebotari et al
233 (2024) nos ha llamado la atención, ya que es un punto de partida importante para el desarrollo del
234 estudio de golpes de estado que esté prudentemente separado de las teorías antes descritas; no solo
235 para poder concentrar los esfuerzos en el estudio del hecho en sí sino también para abarcar no solo
236 los golpes de estado hacia regímenes democráticos, sino también hacia regímenes autoritarios en
237 todas sus variantes. En la siguiente sección se desarrollará la metodología con la que se guiará el
238 trabajo, utilizando en buena medida las técnicas expuestas por el artículo del Cebotari et al.

3. Metodología

Puesto que buscamos reproducir el mismo trabajo realizado por el FMI (Cebotari et al., 2024) con diferentes datos, vamos a utilizar las mismas técnicas de optimización de hiperparámetros, así como los mismos algoritmos de entrenamiento y de interpretación de resultados.

3.1. Algoritmos de predicción

Los algoritmos que se utilizarán serán Random Forest (Breiman, 2001) y XGBoost (Chen y Guestrin, 2016). Ambos algoritmos son modelos de ensamble basados en múltiples árboles de decisión. Un árbol de decisión individual es un modelo predictivo que divide los datos en subconjuntos cada vez más pequeños basándose en una serie de decisiones binarias sobre las características de los datos. En cada nodo del árbol, se selecciona una característica y un umbral para dividir los datos en dos grupos: aquellos que cumplen la condición y aquellos que no. Este proceso se repite de manera recursiva hasta que se alcanza una condición de parada, ya sea un mínimo de muestras en un nodo o una profundidad máxima del árbol.

El algoritmo Random Forest (bosque aleatorio) busca combinar múltiples árboles de decisión con características disímiles, combinando sus predicciones mediante un promedio (en regresión) o mediante votación (en clasificación). La variedad de árboles se logra mediante una selección aleatoria de un subconjunto de los datos con remplazo, así como seleccionando una proporción aleatoria de atributos del dataset. De esa manera, se reduce la varianza del modelo, se evita el sobreajuste y se mejora la capacidad predictiva.

Por otro lado, XGBoost (Extreme Gradient Boosting) es un algoritmo de boosting que mejora las predicciones combinando múltiples árboles de decisión débiles (de menor capacidad predictiva) de manera secuencial. A diferencia de Random Forest, donde los árboles se entrenan de forma independiente, en el boosting los árboles se entrenan uno tras otro, cada uno tratando de corregir los errores cometidos por los árboles anteriores. Particularmente, XGBoost utiliza la técnica de gradient boosting, donde cada árbol nuevo se ajusta a los residuos (errores) del modelo anterior utilizando el gradiente del error. Adicionalmente, XGBoost incluye algunas mejoras como la regularización y el manejo eficiente de datos faltantes.

3.2. Métrica de evaluación

Adicionalmente, para la evaluación de performance se utilizará el área bajo la curva ROC (AUC). La curva ROC es construida trazando la tasa de verdaderos positivos (la sensibilidad) frente a la tasa de falsos positivos (especificidad) en diferentes umbrales de decisión. El área total de esta curva es la que se utilizará para evaluar la performance del modelo. Esta métrica toma valores entre 0.5 y 1. Un valor de AUC de 0.5 indica que el modelo no tiene mayor capacidad predictiva que el puro azar, mientras que un valor cercano a 1 indica que el modelo es un excelente predictor. Las ventajas de esta métrica son que es insensible al desbalance de clases y que proporciona una evaluación única del rendimiento del modelo en distintos umbrales de decisión.

3.3. Optimización de hiperparámetros

Con respecto al ajuste de hiperparámetros se utilizará la optimización bayesiana. Este algoritmo goza de varias ventajas con respecto a sus contrapartes grid search y random search. Mientras que estos últimos recorren los hiperparámetros sin prestar atención al puntaje que obtiene la métrica a optimizar, la optimización bayesiana sí lo hace (en este caso, el área bajo la curva ROC) e intenta mejorar ese puntaje en cada iteración. Así, recorre el espacio de hiperparámetros de manera más eficiente, probando combinaciones de hiperparámetros que permitan minimizar o maximizar la métrica. Además, por cómo está desarrollado este algoritmo, en los hiperparámetros con decimales, puede explorar cualquier tipo de valores entre un rango provisto por el usuario, obteniendo valores precisos de los hiperparámetros. Esta optimización bayesiana consistirá en 100 iteraciones en donde se buscará el valor óptimo de los siguientes hiperparámetros:

- Random Forest: profundidad máxima de los árboles (max_depth) y la submuestra del ratio de columnas a considerar cuando se construye cada árbol (max_features).

288 ■ XGBoost: la tasa de aprendizaje (`learning_rate`) y el término de regularización L2 en los
289 pesos (`reg_lambda`).

290 Adicionalmente el parámetro que establece la cantidad de árboles creados (`n_estimators`) quedará
291 fijado en 1000.

292 3.4. Block-time-series cross-validation

293 Para evitar el data leakage -es decir, incorporar en el conjunto de entrenamiento información que no
294 vamos a tener en futuro- en cada iteración de la optimización bayesiana se utilizará la validación
295 cruzada. Sin embargo, como se trabajará con una base de datos de panel, conviene utilizar una versión
296 adaptada: el método *block- time-series cross-validation*, basado en Burman et al., 1994 y Racine,
297 2000. El método aplicado en este caso consiste en generar 5 pares de entrenamiento y validación:
298 1970 - 2009, 2010 - 2011; 1970 - 2011, 2012 - 2013; 1970 - 2013, 2014 - 2015; 1970 - 2015, 2016 -
299 2017; 1970 - 2017, 2018- 2019. Por lo tanto, cada set de entrenamiento consiste en observaciones
300 desde 1970 hasta un año de corte (2009, 2011, 2013, 2015, 2017) y el set de validación contempla los
301 dos años siguientes del mismo. Una vez realizada la optimización bayesiana, se toman los valores de
302 hiperparámetros que lograron maximizar el AUC y se entrena el modelo con el set de entrenamiento
303 para intentar predecir los golpes de estado entre 2020 y 2022.

304 3.5. Valores Shapley

305 Para interpretar las variables más importantes en la predicción de golpes de estado, se utilizarán
306 los valores Shapley (Strumbelj y Kononenko, 2010; Lundberg y Lee, 2017). Basado en la teoría de
307 juegos, los valores Shapley consideran todas las posibles coaliciones de características y calculan
308 la contribución promedio de cada característica a través de todas las permutaciones posibles. En
309 otras palabras, determinan cuánto contribuye cada característica al valor de predicción del modelo,
310 considerando la interacción entre las características y evitando atribuciones injustas o redundantes.
311 Los valores Shapley proporcionan una forma intuitiva y sólida de interpretar y entender cómo las
312 características individuales afectan las decisiones del modelo, lo que los hace valiosos para explicar
313 modelos de aprendizaje automático complejos.

314 3.6. Ingeniería de atributos

315 Para dotar de mayor información a los algoritmos a la hora de predecir la variable objetivo, se crearon
316 nuevas variables a partir de las ya existentes. Fundamentalmente, se generaron variables llamadas
317 "lag" que toman el valor que obtuvo cierto país una x cantidad de años atrás. En este caso específico
318 se generaron lags para 1, 5 y 10 años anteriores. De esa manera, los algoritmos tienen algo más de
319 información sobre la tendencia temporal de las variables. Adicionalmente, se agregaron variables
320 binarias que informan sobre la región a la que pertenecen los países, especulando con que estas
321 variables pueden llegar a tener importancia si una región específica cuenta con muchos golpes de
322 estado en un momento determinado. Finalmente, se excluyeron todos los grupos de variables que
323 provengan de fuentes externas, con el objetivo de tener la certeza de contar con la mayoría de las
324 mismas en caso de querer repetir este experimento en años futuros; así como también se excluyeron
325 variables que no cuentan con información para ningún país en cierto punto de la serie (por ejemplo,
326 las variables históricas, que trabajan con datos anteriores al siglo xx).

327 3.7. Análisis Exploratorio de Datos

328 Como primera aproximación a la base de datos de Varieties of Democracy o V-Dem (Coppedge,
329 Gerring, Knutsen, Lindberg et al., 2024), pasaremos a explicar la manera en que se construye la misma.
330 Las variables centrales se obtienen a partir de encuestas suministradas a expertos sobre los distintos
331 países. Inicialmente, se busca que cada país cuente con al menos cinco expertos. Actualmente, la
332 institución cuenta con 22 expertos promedio por país y 7,1 expertos por combinación de variable
333 y país. Una vez obtenida las respuestas de los expertos, se pasa al proceso de agregación para así
334 conformar una base de datos donde cada fila corresponda a un país en un año específico. De esta
335 agregación obtienen diferentes versiones de la misma variable:

- 336 ■ Estimador del modelo (Variable sin sufijo): es la medida recomendada para su análisis.
337 Corresponde a obtener la mediana del valor de la variable entre los expertos, reescalado a
338 valores entre -5 a 5.
- 339 ■ Medidas de incertidumbre (*_codelow y *_codehigh): corresponden a un desvío estándar
340 por encima y por debajo del estimador del modelo. Usadas conjuntamente, construyen un
341 intervalo de confianza del 95 %.
- 342 ■ Escala original (*_osp): mediana de la variable para todos los expertos, pero sin reescalar.
343 Esta versión también cuenta con sus medidas de incertidumbre correspondientes.
- 344 ■ Desvío estándar (*_sd): desvío estándar de la variable.
- 345 ■ Media simple (*_mean): media de la variable para todos los expertos.
- 346 ■ Cantidades de expertos (*_nr): cantidad de expertos que respondieron por país, año y
347 variable.

348 Podemos mencionar que la base cuenta con 27734 filas y 4607 columnas. Como es una base de datos
349 de panel, se tiene información de 202 países durante 235 años. Las variables cuentan con un tipo de
350 codificación particular que permite identificar el origen de la variable. En primer lugar, el primer
351 prefijo es indicativo de si fue producido por V-Dem o no:

- 352 ■ v2: variables de V-Dem.
- 353 ■ v3: variables pertenecientes a la base V-Dem histórica.
- 354 ■ v2x_: Índices principales e índices componentes.
- 355 ■ v2x[indicador de dos letras]: Índices específicos de ciertas áreas (ver más abajo).
- 356 ■ e_: variables no generadas por V-Dem y variables V-Dem en versión ordinal.

357 El nombre de la variable también permite identificar la área temática a la que pertenece:

- 358 ■ ca: Espacio cívico y académico
- 359 ■ cl: Libertad civil
- 360 ■ cs: Sociedad civil
- 361 ■ dd: Democracia directa
- 362 ■ de: Demografía
- 363 ■ dl: Deliberación
- 364 ■ el: Elecciones
- 365 ■ ex: Ejecutivo
- 366 ■ exl: Legitimación
- 367 ■ ju: Poder judicial
- 368 ■ leg: Legislatura
- 369 ■ lg: Legislatura
- 370 ■ me: Medios de comunicación
- 371 ■ pe: Igualdad política
- 372 ■ ps: Partidos políticos
- 373 ■ sv: Soberanía
- 374 ■ st: Estado
- 375 ■ x: Índice (calculado a partir de variables que también se incluyen en la base de datos)
- 376 ■ zz: Cuestionario posterior a la encuesta
- 377 ■ ws: Encuesta de sociedad digital

378 A la base original obtenida desde la librería de V-Dem, se le realizaron los siguientes filtros: en primer
379 lugar, se removieron todas las variables que no sean las principales, es decir, que no cuenten con
380 sufijo. De esa manera, se busca reducir el tamaño de la base y así poder agregar nuevas columnas
381 mediante ingeniería de atributos. En segundo lugar, se filtraron los años superiores a 1950, para
382 adecuarnos al periodo utilizado en el artículo del FMI. De esa manera, la base filtrada cuenta con
383 12208 filas y 1460 columnas. Por último, se remueven todas las variables de fuentes externas (cuyo
384 agrupador comienza con 'e'), las variables pertenecientes a la base histórica (agrupador 'hist') y las
385 de la encuesta de sistema de partidos políticos; en parte debido a que provienen de fuentes ajenas
386 a V-Dem que pueden comprometer la completitud futura de los datos y en parte porque algunas de
387 estas variables cuentan con alta tasa de nulos.

388 Realizando un análisis generalizado de los distintos grupos de variables de la base de datos, podemos
389 aprehender ciertos patrones sobre la presencia de nulos: En primer lugar, observamos variables que,
390 anteriormente a un año puntual, no cuentan con información. En este ejemplo caen las variables
391 sobre gobernanza otorgadas por el banco mundial (e7), las preguntas pertenecientes a la encuesta
392 de sociedad digital (wsmcio), variables referentes a la libertad en medios digitales (wsmdmf), las
393 referentes a la polarización en medios online (wsmpomp) y las referentes a clivajes sociales (wsmsc).

394 En segundo lugar, figuran casos contrarios, en donde a partir de determinado año la cantidad de datos
395 faltantes salta a la totalidad de los casos. En este grupo figuran las variables asociadas a instituciones
396 y eventos políticos (e13), cuya fuente es un artículo de Przeworski de 2013; las variables cuya
397 fuente es la base de datos polity V (e14); las variables sobre educación (aumentan los nulos en
398 algunas variables) (eb1); las variables sobre recursos naturales (eb5), cuya fuente tiene datos hasta
399 2006; las variables sobre infraestructura (eb6); y las relacionadas a conflictos (eb8). En general, esta
400 discontinuidad sucede debido a que la información de estas variables provienen de fuentes externas
401 no gestionadas por V-Dem, las cuales finalizaron su serie en un año puntual. Por último figuran los
402 grupos de variables asociados a la base de datos histórica de v-dem (las que comienzan con hist), lo
403 cual es lógico puesto que esta base busca tomar datos previos a 1900.

404 Consecuentemente, quitaremos del grupo de variables a utilizar aquellas que sean de fuentes externas,
405 ya que de esa manera podemos asegurarnos que contaremos con todas las variables para predecir
406 golpes de estado en años futuros. También quitamos las variables provenientes de fuentes históricas y
407 de las encuestas de sociedad digital, ya que no cuentan con información para toda la serie.

408 Haciendo foco en la variable objetivo, es importante aclarar que en este trabajo no estamos contando
409 la cantidad precisa de golpes de estado sucedidos en un período de tiempo, sino que simplemente
410 relevamos si al menos un golpe de estado sucedió en un país y año determinado. Por lo tanto, si
411 un país sufrió más de un golpe de estado en un año, el mismo será contabilizado una sola vez.
412 Adicionalmente, en este trabajo también se consideran los golpes de estado que no fueron exitosos,
413 es decir, que no lograron derrocar al gobierno en cuestión. De allí se desprende que países como
414 Argentina, que en total ha tenido seis golpes de estado exitosos, figure con el doble de golpes en la
415 figura 1.

416 Para realizar un paneo general de la variable objetivo, es decir, la presencia de golpes de estado a
417 lo largo de los años, generamos un conteo y lo visualizamos en un planisferio. Destacamos que la
418 mayor presencia de golpes se encuentra en el continente africano, en América del Sur y parte del
419 Caribe, Medio Oriente y el Sudeste Asiático, con algunos casos de apenas un golpe en España, Rusia,
420 Ucrania y Corea del Sur; así como dos y tres golpes en Grecia y Portugal, respectivamente.

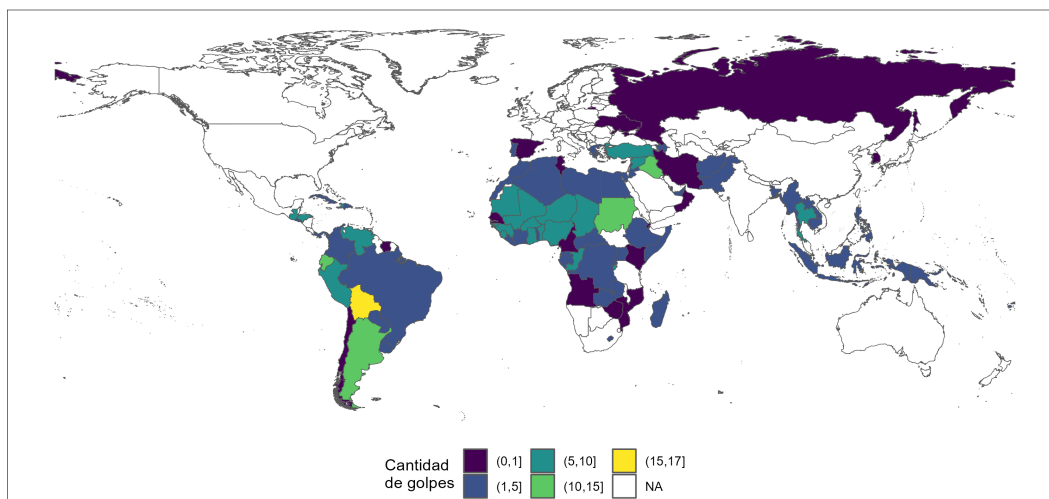


Figura 1: Golpes de estado período (1950-2023) Fuente: Powell y Thyne, 2011

421 Con mayor precisión, observamos que la región del Sahel se destaca con respecto a sus vecinos
 422 africanos. Los países en donde más golpes de estado se han producido son Bolivia (17), Sudán (14),
 423 Argentina (13), Ecuador (11), Iraq (11), Siria(11), Guatemala (10) y Tailandia (10).

424 Desagregando por década se observan algunos cambios, así como la persistencia en algunas regiones.
 425 La región del Sahel y varias naciones circundantes fueron persistentemente afectadas por golpes
 426 de estado desde los años 60. En América del Sur, en cambio, la presencia casi total de situaciones
 427 golpistas en la región se fue acotando a partir de los años 80 hasta finalmente desaparecer en el siglo
 428 xxi. Para observar con más detalle y discriminado por años y países se puede ver la figura 5.

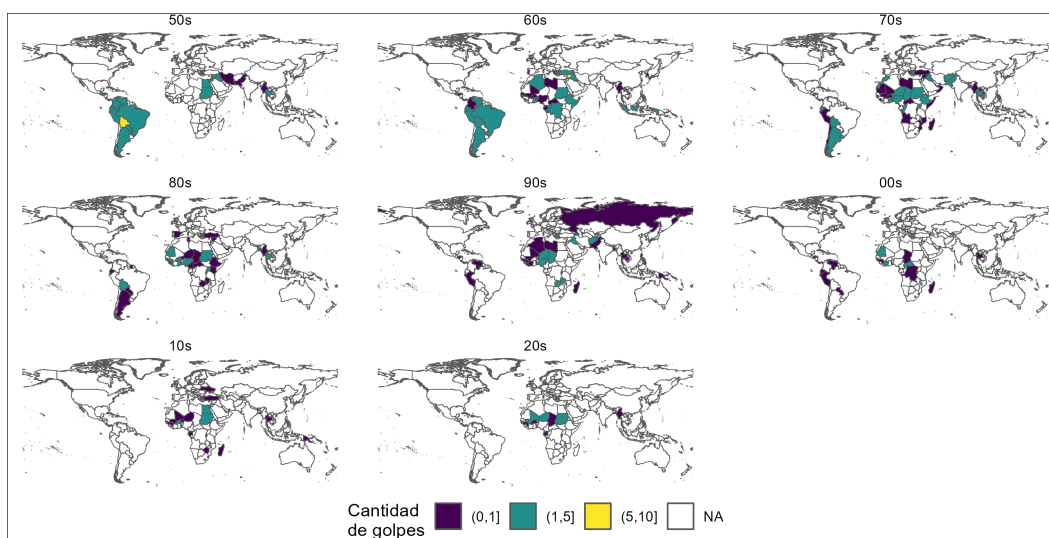


Figura 2: Conteo de golpes por década Fuente: Powell y Thyne, 2011

4. Resultados y discusión

4.1. Performance de los modelos

En primer lugar, se realizó la optimización bayesiana de ambos modelos según lo indicado en la metodología. En el caso de XGBoost se pudo realizar las 100 iteraciones sin mayores inconvenientes, tomando los valores óptimos de hiperparámetros para el entrenamiento final. Con respecto a Random Forest, en cambio, se alcanzaron 53 iteraciones, debido a que cada iteración consumía una gran cantidad de tiempo (en promedio una hora) y no se observaban mejoras significativas en el AUC. De las iteraciones generadas, se tomó los hiperparámetros del segundo mejor AUC, puesto que la diferencia con el ganador en el score era insignificante, pero el tiempo de cómputo era menos de la mitad.

Una vez seleccionado los mejores hiperparámetros, se procede a entrenar los modelos en el conjunto de entrenamiento final, el cual abarca los registros desde 1950 hasta 2019; así como a evaluar el desempeño del mismo en los años 2020, 2021 y 2022 para emular el trabajo realizado por el FMI.

Es importante destacar que existen dos enfoques para evaluar el modelo en los años de testeo: por un lado se pueden evaluar todos los años en su conjunto utilizando como datos de entrenamiento los registros hasta el año anterior del primer año de validación. Una opción alternativa es ir entrenando el modelo hasta el año anterior al de validación para cada año individualmente, de manera de poder utilizar todos los años anteriores y no perder performance. Para este trabajo utilizamos el primer enfoque, es decir que entrenamos los modelos hasta 2019 y los evaluamos en todos los años de evaluación a la vez, de manera de aprehender de manera general la importancia de cada variable en la predicción de la variable objetivo.

En el cuadro 1 observamos el desempeño de los modelos en los años de testeo. Por un lado figura el AUC individual de cada año por separado y por el otro observamos el AUC acumulada es decir, evaluando en ese año junto con los anteriores.

Año	XGBoost		Random Forest	
	AUC	AUC acumulada	AUC	AUC acumulada
2020	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
2021	0.750000	0.785714	0.830443	0.855718
2022	0.666667	0.750000	0.666667	0.799051
2023	0.666667	0.730058	0.833333	0.806981

Cuadro 1: Área bajo la curva ROC por año puntual y acumulado (XGBoost y Random Forest)

Lo primero que podemos observar es que ambos modelos logran una performance perfecta para el año 2020, lo cual resulta esperable ya que cuentan con información del año inmediatamente anterior. También esperable, la performance decae en los años siguientes, lo cual impacta en el valor del AUC acumulada. Lo más destacable es que Random Forest logra una mejor performance que XGBoost en el resto de años, alcanzando un AUC de casi 0.8 y 0.75, respectivamente. Con esta información, se tomó la decisión de continuar el análisis de resultados con Random Forest.

Focalizando solamente en Random Forest, y puesto que los casos negativos (527 en los tres años de evaluación) fueron predichos de manera perfecta, podemos aprovechar para visualizar los casos positivos que son apenas diez casos, tantos los verdaderos positivos como los falsos negativos (Cuadro 2). En primer lugar, podemos notar que la predicción perfecta en el año 2020 se debe a que el modelo logró predecir correctamente el único golpe de ese año en Malí, en la región del Sahel. Después, en el año 2021 esta performance disminuye, al no lograr predecir los golpes de nuevo en Mali y en Níger, aunque si predice golpes en Sudán, Guinea y Chad. A simple vista, no parece haber datos geográficos o históricos que permitan establecer por qué logra predecir algunos golpes y en otros no, en especial porque son países relativamente similares, de pocos años de independencia y dentro de la misma región. Adicionalmente, en este año también logró predecir el golpe de estado en Burma/Myanmar, una nación ubicada en una región alejada de África, en el sudeste asiático.

Año	País	¿Hubo golpe?	Predicción	Resultado
2020	Mali	Sí	Sí	Verdadero positivo
2021	Burma/Myanmar	Sí	Sí	Verdadero positivo
2021	Sudan	Sí	Sí	Verdadero positivo
2021	Guinea	Sí	Sí	Verdadero positivo
2021	Chad	Sí	Sí	Verdadero positivo
2022	Burkina Faso	Sí	Sí	Verdadero positivo
2021	Mali	Sí	No	Falso negativo
2021	Niger	Sí	No	Falso negativo
2022	Guinea-Bissau	Sí	No	Falso negativo
2022	Sao Tome and Principe	Sí	No	Falso negativo

Cuadro 2: Falsos negativos y verdaderos positivos (Random Forest)

Finalmente, el año 2022 expone la peor performance del modelo: si bien logra predecir un golpe de estado en Burkina Faso, falla al predecir golpes en Guinea-Bissau y Sao Tome y Principe, todos países en la misma región del continente africano. De manera general, podemos asociar esta baja en la performance a que el modelo deja de contar con información del año inmediatamente anterior al del conjunto de evaluación.

4.2. Análisis de variables

A continuación, pasaremos a evaluar la relevancia de las distintas variables del dataset para la predicción del modelo. De esa manera, podremos extraer elementos para determinar o reforzar los posibles causales de un golpe de estado en un territorio determinado. En primer lugar, utilizaremos la importancia de las variables según Random Forest, la cual se puede observar en la figura 3 (los nombres de las variables fueron traducidas y resumidas del libro de códigos de la base de datos para una vista amigable. Se puede verificar el nombre codificado y original de las variables en la tabla 3).

Las barras indican el porcentaje de importancia de las 10 variables con mayor peso. En total, estas diez variables representan alrededor del 50 % de la importancia. En general, todas las variables están relacionadas con la forma de gobierno, con la influencia de las fuerzas armadas en el mismo o con la misma variable objetivo en años anteriores. Entre el segundo y el cuarto lugar figuran variables que reflejan muy evidentemente una relación con la presencia de golpes de estado, como tener la legislatura cerrada o abortada o que el ejecutivo no sea más electo. El dato más interesante a destacar es que la variable con mayor importancia es la cantidad de días desde que comenzó el régimen.

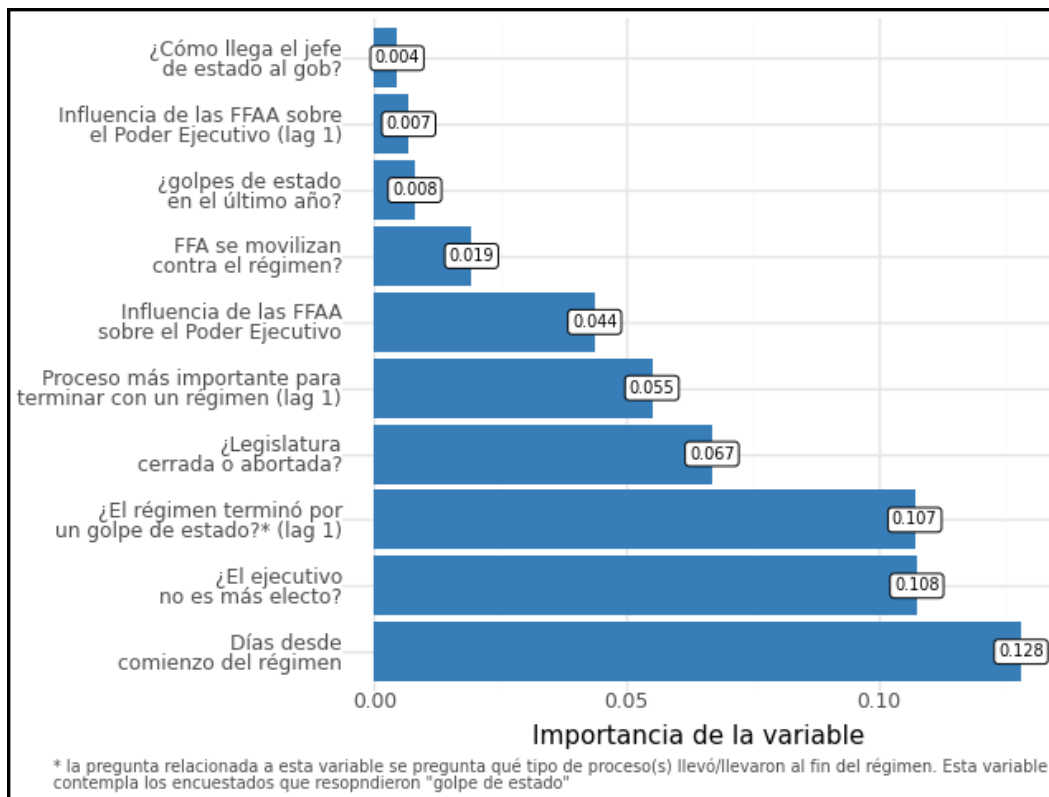


Figura 3: Importancia de las variables para predicción 2020-2022 (Random Forest)

489 Ahora incorporaremos los Shapley Values para identificar variables importantes a la hora de predecir
 490 la presencia de golpes de Estado, como se expone en la figura 4. En el eje Y figuran las primeras 11
 491 variables con mayor valor de Shapley y en el eje X figura el valor Shapley, visualizando la distribución
 492 de los casos en forma de violín y los outliers como puntos. Finalmente, el color de los violines y de
 493 los puntos indica el valor de la variable en cuestión.

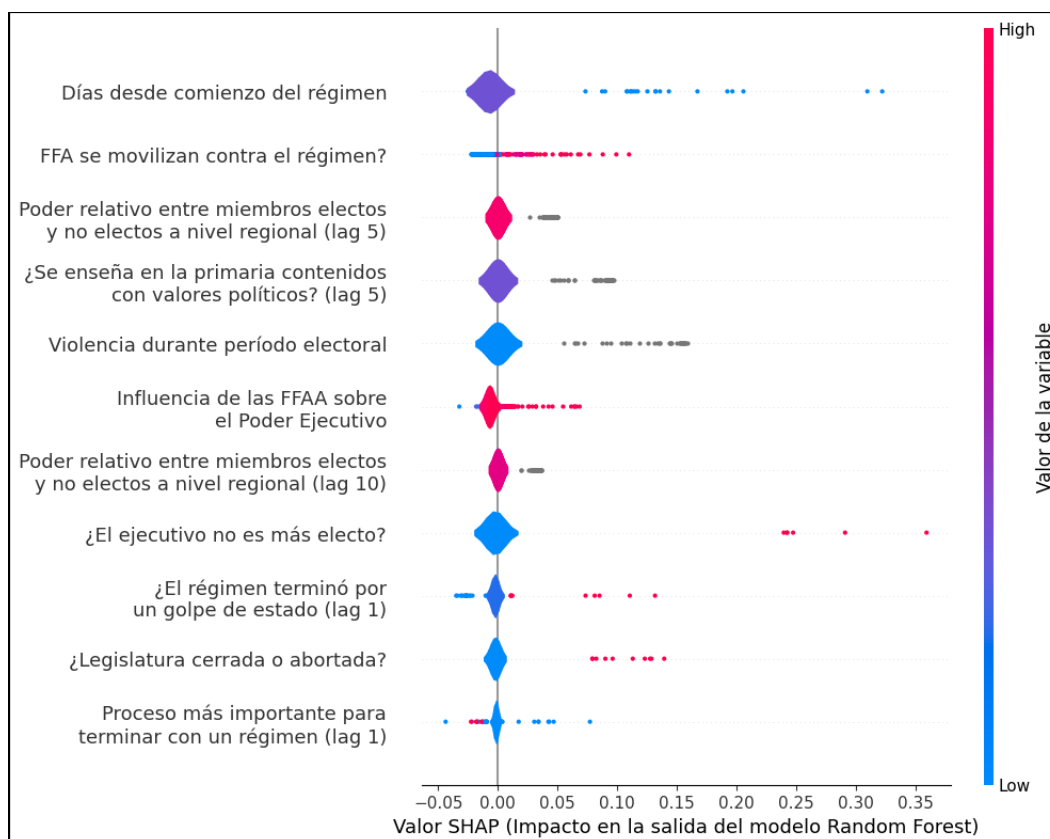


Figura 4: Shapley values para predicción 2020-2022 (Random Forest)

Si bien en este gráfico algunas variables figuran también en el gráfico de la importancia de las variables, podemos destacar algunas diferencias. Primero, figura la enseñanza de valores políticos en la escuela, en cuyo valores nulos tienen alto valor Shapley. También destacan los datos nulos en el poder relativo entre miembros electos y no electos a nivel regional, en su misma versión hace 10 años (lag 10) y en la presencia de violencia durante el período electoral.

Adicionalmente, si bien la cantidad de días del régimen también figura en el gráfico de la importancias de las variables, esta visualización permite observar también cómo influye el valor de la variable en sus valores Shapley. Allí se observa que los casos con menor valor en la variable (es decir, con menores días del régimen) tienen mayor valor Shapley e inclina la balanza hacia la predicción de un caso positivo. Se puede inferir de esto último que un régimen joven es más inestable y, por lo tanto, propensa a sufrir un nuevo cambio de régimen mediante un golpe.

Para comprender qué significan estos datos nulos, es de utilidad recurrir al libro de códigos de la base de datos. Por ejemplo, un valor faltante en el poder relativo entre oficiales electos y no electos significa que todos o casi todos de los funcionarios electos son subordinados de algún otro poder que no surgió de las urnas (a nivel regional).

Otros temas a tratar en los resultados en la próxima entrega: - Valores Shapley en cada año individual y/o en cada país - Análisis histórico de las variables destacadas

4.3. Discusiones

- Vinculación de resultados con estado del arte y marco teórico
- Comparación de performance y de variables importantes con el artículo del FMI
- Limitaciones

515 **5. Conclusiones**

- 516 - Resumen de los hallazgos principales
517 - Conclusiones generales y su relación con los objetivos del trabajo
518 - Recomendaciones para futuros trabajos

519 **6. Anexo**

520 **6.1. Código**

521 La totalidad del código y entregas en latex y PDF se encuentran en un repositorio abierto de Github
522 de José Saint Germain (Acceso al repositorio). En el mismo se describe la secuencia de códigos a
523 correr para la obtención de datos, la ingeniería de atributos, la optimización bayesiana, la corrida
524 final, el análisis exploratorio de datos y el análisis de resultados de los algoritmos.

525 **6.2. Golpes**

- 526 - Breve descripción de los 10 golpes que se buscaron predecir. Su contexto histórico, político y social.

527 **6.3. Gráficos y tablas adicionales**

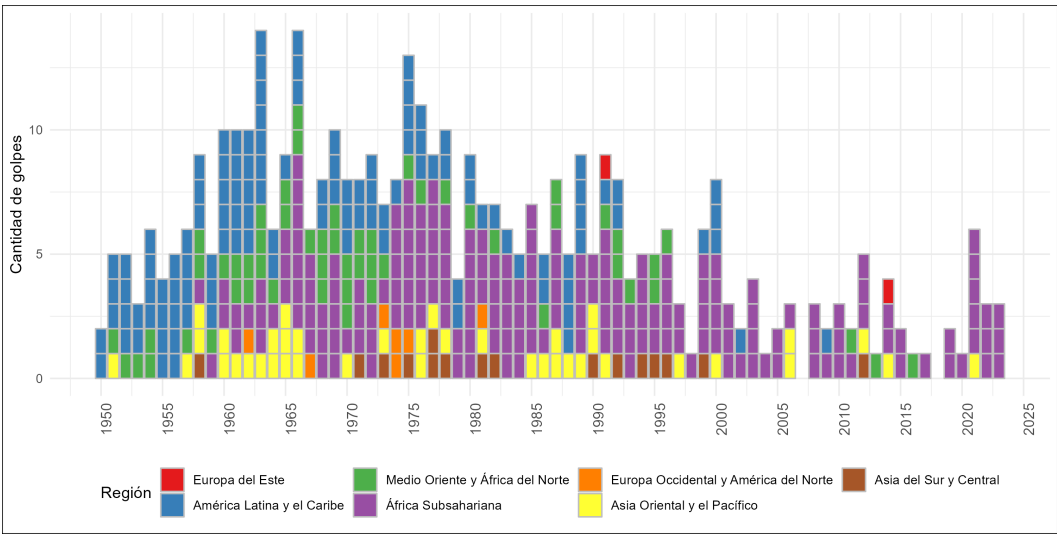


Figura 5: Conteo de golpes por año y región (Powell y Thyne, 2011)

Variable	Descripción
coup_lag_1	¿golpes de estado en el último año?
v2expathhs	¿Cómo llega el jefe de estado al gob?
v2regdur	Días desde comienzo del régimen
v2regoppgroupsact_5	FFA se movilizan contra el régimen?
v2elrgpwr_lag_5	Poder relativo entre miembros electos y no electos a nivel regional (lag 5)
v2edpoledprim_lag_5	¿Se enseña en la primaria contenidos con valores políticos? (lag 5)
v2elpeace	Violencia durante período electoral
v2x_ex_military	Influencia de las FFAA sobre el Poder Ejecutivo
v2x_ex_military_lag_1	Influencia de las FFAA sobre el Poder Ejecutivo (lag 1)
v2elrgpwr_lag_10	Poder relativo entre miembros electos y no electos a nivel regional (lag 10)
v2x_hosinter	¿El ejecutivo no es más electo?
v2regendtypems_0_lag_1	¿El régimen terminó por un golpe de estado? (lag 1)
v2xlg_leginter	¿Legislatura cerrada o abortada?
v2regendtype_lag_1	Proceso más importante para terminar con un régimen (lag 1)
coup_lag_1	¿Golpes de estado en el último año?

Cuadro 3: Nombre original de variables y su descripción

Referencias

- Lipset, S. M. (1959). Some social requisites of democracy: Economic development and political legitimacy. *American political science review*, 53(1), 69-105.
- Huntington, S. P. (1968). *Political order in changing societies*. Yale university press.
- O'donnell, G. (1972). Modernización y autoritarismo.
- Cardoso, F. H., & Faletto, E. (1979). *Dependencia y desarrollo en América Latina*. Siglo XXI México.
- Burman, P., Chow, E., & Nolan, D. (1994). A Cross-Validatory Method for Dependent Data. *Biometrika*, 81(2), 351-358. Consultado el 1 de mayo de 2024, desde <http://www.jstor.org/stable/2336965>
- Przeworski, A., Alvarez, M. E., Cheibub, J. A., & Limongi, F. (2000). *Democracy and Development: Political Institutions and Well-Being in the World, 1950-1990*. Cambridge University Press.
- Racine, J. (2000). Consistent cross-validatory model-selection for dependent data: hv-block cross-validation. *Journal of Econometrics*, 99(1), 39-61. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(00\)00030-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-4076(00)00030-0)
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5-32. <https://doi.org/http://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Strumbelj, E., & Kononenko, I. (2010). An Efficient Explanation of Individual Classifications using Game Theory. *The Journal of Machine Learning Research*, 11, 1-18.
- Powell, J. M., & Thyne, C. L. (2011). Global Instances of Coups from 1950 to 2010: A New Dataset. *Journal of Peace Research*, 48(2), 249-259.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proceedings of the 22nd international conference on knowledge discovery and data mining*, 785-794. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1603.02754>
- Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A Unified Approach to Interpreting Model Predictions (I. Guyon, U. V. Luxburg, S. Bengio, H. Wallach, R. Fergus, S. Vishwanathan & R. Garnett, Eds.). 30. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/8a20a8621978632d76c43dfd28b67767-Paper.pdf
- Cebotari, A., Chueca-Montuenga, E., Diallo, Y., Ma, Y., Turk, R., Xin, W., & Zavarce, H. (2024). *Political Fragility: Coups d'État and Their Drivers*. IMF Working Paper 24/34. <https://doi.org/https://doi.org/10.23696/mcwt-fr58>
- Coppedge, M., Gerring, J., Knutsen, C. H., Lindberg, S. I., Teorell, J., Marquardt, K. L., Medzihorsky, J., Pemstein, D., Fox, L., Gastaldi, L., Pernes, J., Rydén, O., von Römer, J., Tzelgov, E., Wang, Y.-t., & Wilson, S. (2024). "V-Dem Methodology v14" *Varieties of Democracy (V-Dem) Project* (Report). <https://v-dem.net/data/reference-documents/>
- Coppedge, M., Gerring, J., Knutsen, C. H., Lindberg, S. I., Teorell, J., Altman, D., Angiolillo, F., Bernhard, M., Borella, C., Cornell, A., Fish, S. M., Fox, L., Gastaldi, L., Gjerløw, H., Glynn, A., God, A. G., Grahn, S., Hicken, A., Kinzelbach, K., ... Ziblatt, D. (2024). *V-Dem*

565 *Dataset v14* Varieties of Democracy (V-Dem) Project* (Report). [https://doi.org/https:](https://doi.org/https://doi.org/10.23696/mcwt-fr58)
566 [//doi.org/10.23696/mcwt-fr58](https://doi.org/10.23696/mcwt-fr58)