

---

## Entrega 3: Introducción y Resultados

---

**José Saint Germain**  
joesg998@gmail.com

# Índice

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

## 28 1. Introducción

29 El objetivo de este trabajo es lograr entrenar un modelo de aprendizaje automático que logre predecir  
30 de manera aceptable la presencia de golpes de estado durante los años 2020 a 2022 en todos los  
31 países del mundo a partir de la utilización de la base de datos provista por la fundación Varieties  
32 of Democracy (V-Dem) (Coppedge, Gerring, Knutsen, Lindberg et al., 2024), así como tener una  
33 noción acabada de las variables más importantes que los algoritmos utilizan para la predicción de la  
34 variable objetivo.

### 35 1.1. Motivación

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

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

### 51 1.2. Estructura del documento

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

## 53 2. Marco Teórico y estado del arte

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

### 60 2.1. La Teoría de la Modernización y sus variantes

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

70 Para medir el desarrollo económico, Lipset analiza y desgrega cuatro variables: el nivel de riqueza,  
71 medido por pbi per cápita y por la cantidad de personas con vehículos de motor, radios, teléfonos y  
72 diarios cada mil personas; el grado de industrialización, medido por el porcentaje de trabajadores  
73 hombres en la agricultura y el nivel de energía utilizado per cápita (en toneladas de carbón); el  
74 nivel de urbanización, medido en índices realizados previamente; así como el nivel educativo de la

75 población, del cual toma principalmente la tasa de alfabetización. El autor subraya este último factor,  
76 exponiendo que si no es una condición suficiente para la democracia, es una condición necesaria.

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

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

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

## 108 2.2. Teoría de la Dependencia y el Subdesarrollo

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

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

127 En los casos donde los sectores internos lograron cierto espacio de desarrollo, se generaron nuevos  
128 grupos sociales (artesanos, pequeños comerciantes, profesionales, sectores vinculados a los servicios,

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

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

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

### 2.3. Estado burocrático autoritario

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

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

Este proceso llevó a la conclusión de que para poder continuar con un desarrollo industrial era necesario la postergación de las demandas de participación en el consumo así como en el poder político del sector popular urbano. Esta conclusión generó un péndulo en la configuración de las coaliciones sociales: el sector empresario industrial y los sectores agroexportadores se unieron para bloquear la participación de sectores populares mediante la instauración de un régimen autoritario que sea administrado por una tecnocracia capacitada.

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

## 193 2.4. Enfoques empíricos

194 Casi medio siglo desde las primeras publicaciones de Lipset, Przeworski et al (2000) a partir de  
195 una exhaustiva recolección de datos sobre el devenir histórico de los distintos países entre 1950 y  
196 1990, los autores llegan a una serie de conclusiones sobre la relación entre desarrollo económico y  
197 democracia. En primer lugar, consideran que si bien el desarrollo económico per se no conduce a una  
198 democratización, si es verdad que las democracias en países en vías de desarrollo son mucho más  
199 frágiles e inestables que en los países desarrollados. En segundo lugar, las democracias no producen  
200 una disminución de la inversión en el país; en especial si es un país pobre, ya que para los autores no  
201 hay mucho que el Estado pueda hacer para modificar esa tendencia. Por lo tanto, no hay evidencia que  
202 indique que haya que sacrificar la democracia para alcanzar el desarrollo: los países que lo lograron  
203 podrían haberlo hecho tanto en una democracia como en una dictadura.

204 Por último, los autores utilizan la información recollada para predecir la situación de las democra-  
205 cías y autoritarismos para el año 2030. Por un lado, afirman que tanto el pbi per cápita va a aumentar  
206 (2,5 veces mayor al de 1990) como que las dictaduras van a ser casi inexistentes. De todas formas,  
207 algunas pocas dictaduras prevalecerán en algunos países pobres, especialmente en África; así como  
208 también predicen para este continente que será el único lugar donde seguirán aconteciendo conflictos  
209 bélicos.

## 210 2.5. Conclusión

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

222 Como cierre, es importante destacar que si bien los golpes de estado rondan permanentemente en el  
223 desarrollo de estas teorías, no figuran estudios relevantes que se hayan concentrado exclusivamente  
224 en su estudio, así como en sus motivadores. Es por eso que el artículo realizado por Cebotari et al  
225 (2024) nos ha llamado la atención, ya que es un punto de partida importante para el desarrollo del  
226 estudio de golpes de estado que esté prudentemente separado de las teorías antes descritas; no solo  
227 para poder concentrar los esfuerzos en el estudio del hecho en sí sino también para abarcar no solo  
228 los golpes de estado hacia regímenes democráticos, sino también hacia regímenes autoritarios en  
229 todas sus variantes. En la siguiente sección se desarrollará la metodología con la que se guiará el  
230 trabajo, utilizando en buena medida las técnicas expuestas por el artículo del Cebotari et al.

### 231 3. Metodología

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

#### 235 3.1. Algoritmos de predicción

236 Los algoritmos que se utilizarán serán Random Forest (Breiman, 2001) y XGBoost (Chen y Guestrin,  
237 2016). Ambos algoritmos son modelos de ensamble basados en múltiples árboles de decisión. Un  
238 árbol de decisión individual es un modelo predictivo que divide los datos en subconjuntos cada vez  
239 más pequeños basándose en una serie de decisiones binarias sobre las características de los datos. En  
240 cada nodo del árbol, se selecciona una característica y un umbral para dividir los datos en dos grupos:  
241 aquellos que cumplen la condición y aquellos que no. Este proceso se repite de manera recursiva hasta  
242 que se alcanza una condición de parada, ya sea un mínimo de muestras en un nodo o una profundidad  
243 máxima del árbol.

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

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

#### 258 3.2. Métrica de evaluación

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

#### 267 3.3. Optimización de hiperparámetros

268 Con respecto al ajuste de hiperparámetros se utilizará la optimización bayesiana. La misma consistirá  
269 en 100 iteraciones en donde se buscará el valor óptimo de los siguientes hiperparámetros:

- 270 ■ Random Forest: profundidad máxima de los árboles (max\_depth) y la submuestra del ratio  
271 de columnas a considerar cuando se construye cada árbol (max\_features).
- 272 ■ XGBoost: la tasa de aprendizaje (learning\_rate) y el término de regularización L2 en los  
273 pesos (reg\_lambda).

274 Adicionalmente el parámetro que establece la cantidad de árboles creados (n\_estimators) quedará  
275 fijado en 1000.

### 276 3.4. Block-time-series cross-validation

277 Para evitar el data leakage, en cada iteraci3n de la optimizaci3n bayesiana se utilizar3 la validaci3n  
278 cruzada. Sin embargo, como se trabajar3 con una base de datos de panel, conviene utilizar una versi3n  
279 adaptada: el m3todo *block- time-series cross-validation*, basado en Burman et al., 1994 y Racine,  
280 2000. El m3todo aplicado en este caso consiste en generar 5 pares de entrenamiento y validaci3n:  
281 1970 - 2009, 2010 - 2011; 1970 - 2011, 2012 - 2013; 1970 - 2013, 2014 - 2015; 1970 - 2015, 2016 -  
282 2017; 1970 - 2017, 2018- 2019. Por lo tanto, cada set de entrenamiento consiste en observaciones  
283 desde 1970 hasta un a3n de corte (2009, 2011, 2013, 2015, 2017) y el set de validaci3n contempla los  
284 dos a3os siguientes del mismo. Una vez realizada la optimizaci3n bayesiana, se toman los valores de  
285 hiperpar3metros que lograron maximizar el AUC y se entrena el modelo con el set de entrenamiento  
286 para intentar predecir los golpes de estado entre 2020 y 2022.

### 287 3.5. Valores Shapley

288 Para intepretar las variables m3s importantes en la predicci3n de golpes de estado, se utilizar3n los  
289 valores Shapley (Strumbelj y Kononenko, 2010; Lundberg y Lee, 2017). Basado en la teor3a de  
290 juegos, los valores Shapley consideran todas las posibles coaliciones de caracter3sticas y calculan  
291 la contribuci3n promedio de cada caracter3stica a trav3s de todas las permutaciones posibles. En  
292 otras palabras, determinan cu3nto contribuye cada caracter3stica al valor de predicci3n del modelo,  
293 considerando la interacci3n entre las caracter3sticas y evitando atribuciones injustas o redundantes.  
294 Los valores Shapley proporcionan una forma intuitiva y s3lida de interpretar y entender c3mo las  
295 caracter3sticas individuales afectan las decisiones del modelo, lo que los hace valiosos para explicar  
296 modelos de aprendizaje autom3tico complejos.

### 297 3.6. Ingenier3a de atributos

298 Para dotar de mayor informaci3n a los algoritmos a la hora de predecir la variable objetivo, se crearon  
299 nuevas variables a partir de las ya existentes. Fundamentalmente, se generaron variables llamadas  
300 "lag" que toman el valor que obtuvo cierto pa3s una x cantidad de a3os atr3s. En este caso espec3fico  
301 se generaron lags para 1, 5 y 10 a3os anteriores. De esa manera, los algoritmos tienen algo m3s de  
302 informaci3n sobre la tendencia temporal de las variables. Adicionalmente, se agregaron variables  
303 binarias que informan sobre la regi3n a la que pertenecen los paises, especulando con que estas  
304 variables pueden llegar a tener importancia si una regi3n espec3fica cuenta con muchos golpes de  
305 estado en un momento determinado. Finalmente, se excluyeron todos los grupos de variables que  
306 provengan de fuentes externas, con el objetivo de tener la certeza de contar con la mayor3a de las  
307 mismas en caso de querer repetir este experimento en a3os futuros; as3 como tambi3n se excluyeron  
308 variables que no cuentan con informaci3n para ning3n pa3s en cierto punto de la serie (por ejemplo,  
309 las variables hist3ricas, que trabajan con datos anteriores al siglo xx).

### 310 3.7. An3lisis Exploratorio de Datos

311 Como primera aproximaci3n a la base de datos de Varieties of Democracy o V-Dem (Coppedge,  
312 Gerring, Knutsen, Lindberg et al., 2024), pasaremos a explicar la manera en que se construye la misma.  
313 Las variables centrales se obtienen a partir de encuestas suministradas a expertos sobre los distintos  
314 pa3ses. Inicialmente, se busca que cada pa3s cuente con al menos cinco expertos. Actualmente, la  
315 instituci3n cuenta con 22 expertos promedio por pa3s y 7,1 expertos por combinaci3n de variable  
316 y pa3s. Una vez obtenida las respuestas de los expertos, se pasa al proceso de agregaci3n para as3  
317 conformar una base de datos donde cada fila corresopnda a un pa3s en un a3o espec3fico. De esta  
318 agregaci3n obtienen diferentes versiones de la misma variable:

- 319 ■ Estimador del modelo (Variable sin sufijo): es la medida recomendada para su an3lisis.  
320 Corresponde a obtener la mediana del valor de la variable entre los expertos, reescalado a  
321 valores entre -5 a 5.
- 322 ■ Medidas de incertidumbre (\*\_codelow y \*\_codehigh): corresponden a un desv3o estandar  
323 por encima y por debajo del estimador del modelo. Usadas conjuntamente, construyen un  
324 intervalo de confianza del 95 %.
- 325 ■ Escala original (\*\_osp): mediana de la variable, pero sin reescalar. Esta versi3n tambi3n  
326 cuenta con sus medidas de incertidumbre correspondientes.



- 327       ■ Media simple (\_mean): mediana de la variable, pero sin reescalar.
- 328       ■ Desvío estándar (\_sd): desvío estándar de la variable.
- 329       ■ Media simple (\_mean): media de la variable.
- 330       ■ Cantidades de expertos (\_nr): cantidad de expertos que respondieron por país, año y variable.

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

- 335       ■ v2: variables de V-Dem.
- 336       ■ v3: variables pertenecientes a la base V-Dem histórica.
- 337       ■ v2x\_: Índices principales e índices componentes.
- 338       ■ v2x[indicador de dos letras]: Índices específicos de ciertas áreas (ver más abajo).
- 339       ■ e\_: variables no generadas por V-Dem y variables V-Dem en versión ordinal.

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

- 341       ■ ca: Espacio cívico y académico
- 342       ■ cl: Libertad civil
- 343       ■ cs: Sociedad civil
- 344       ■ dd: Democracia directa
- 345       ■ de: Demografía
- 346       ■ dl: Deliberación
- 347       ■ el: Elecciones
- 348       ■ ex: Ejecutivo
- 349       ■ exl: Legitimación
- 350       ■ ju: Poder judicial
- 351       ■ leg: Legislatura
- 352       ■ lg: Legislatura
- 353       ■ me: Medios de comunicación
- 354       ■ pe: Igualdad política
- 355       ■ ps: Partidos políticos
- 356       ■ sv: Soberanía
- 357       ■ st: Estado
- 358       ■ x: Índice (calculado a partir de variables que también se incluyen en la base de datos)
- 359       ■ zz: Cuestionario posterior a la encuesta
- 360       ■ ws: Encuesta de sociedad digital

361 A la base original obtenida desde la librería de V-Dem, se le realizaron los siguientes filtros: en primer  
 362 lugar, se removieron todas las variables que no sean las principales, es decir, que no cuenten con  
 363 sufijo. De esa manera, se busca reducir el tamaño de la base y así poder agregar nuevas columnas  
 364 mediante ingeniería de atributos. En segundo lugar, se filtraron los años superiores a 1950, para  
 365 adecuarnos al periodo utilizado en el artículo del FMI. De esa manera, la base filtrada cuenta con  
 366 12208 filas y 1460 columnas. Por último, se remueven todas las variables de fuentes externas (cuyo  
 367 agrupador comienza con 'e'), las variables pertenecientes a la base histórica (agrupador 'hist') y las  
 368 de la encuesta de sistema de partidos políticos; en parte debido a que provienen de fuentes ajenas  
 369 a V-Dem que pueden comprometer la completitud futura de los datos y en parte porque algunas de  
 370 estas variables cuentan con alta tasa de nulos.

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

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

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

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

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

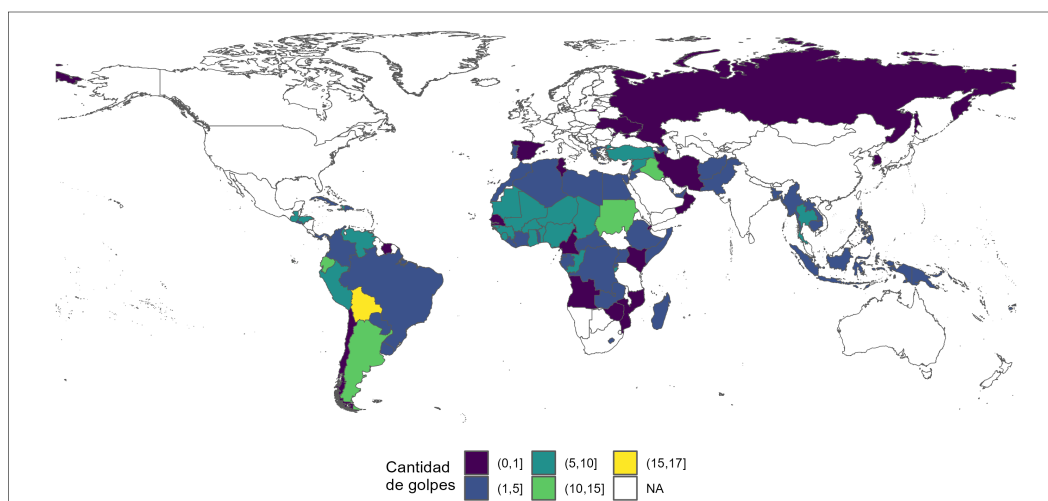


Figura 1: Golpes de estado período (1950-2023) Fuente: Powell y Thyne, 2011

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

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

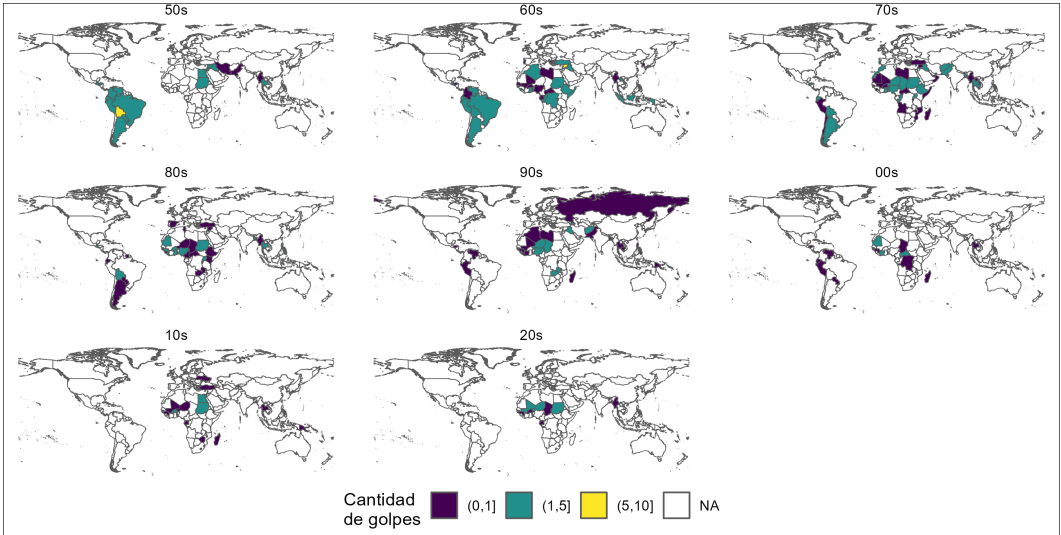


Figura 2: Conteo de golpes por década Fuente: Powell y Thyne, 2011

## 412 4. Resultados y discusión

### 413 4.1. Performance de los modelos

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

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

425 Es importante destacar que existen dos enfoques para evaluar el modelo en los años de testeo: por un  
 426 lado se pueden evaluar todos los años en su conjunto utilizando como datos de entrenamiento los  
 427 registros hasta el año anterior del primer año de validación. Una opción alternativa es ir entrenando el  
 428 modelo hasta el año anterior al de validación para cada año individualmente, de manera de poder  
 429 utilizar todos los años anteriores y no perder performance. Para este trabajo utilizamos el primer  
 430 enfoque, es decir que entrenamos los modelos hasta 2019 y los evaluamos en todos los años de  
 431 evaluación a la vez, de manera de aprehender de manera geenal la importancia de cada variable en la  
 432 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

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 Niger, 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. 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.

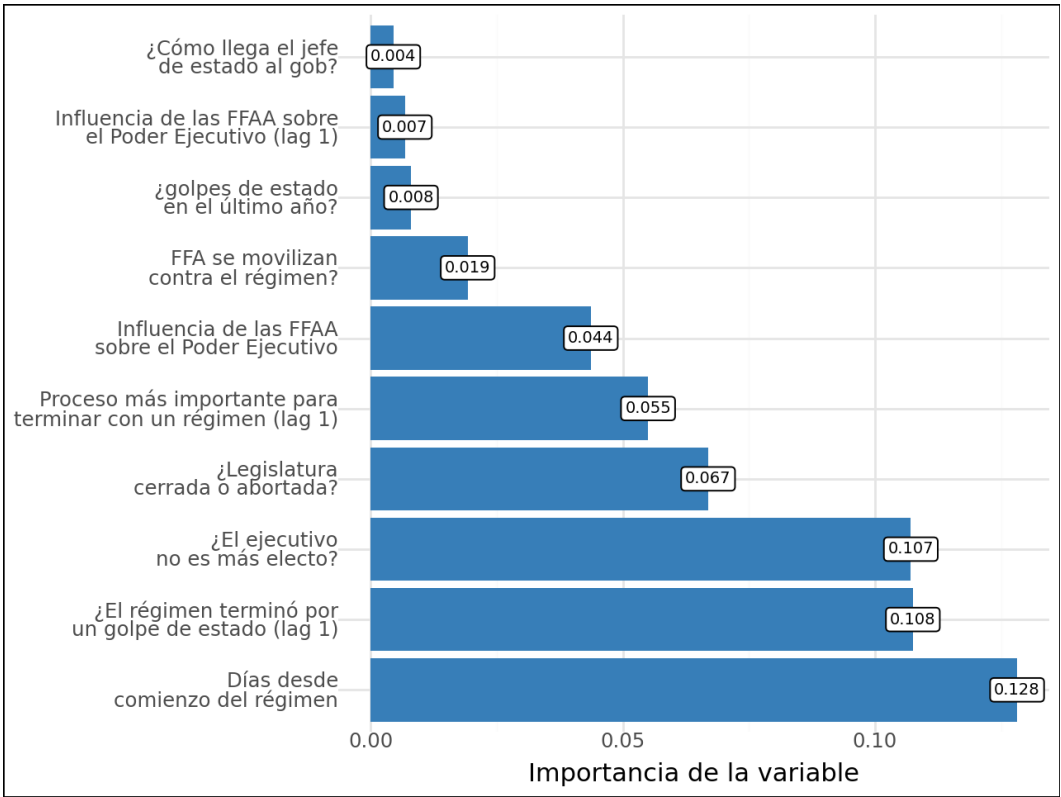


Figura 3: Importancia de las variables para predicción 2020-2022 (Random Forest)

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

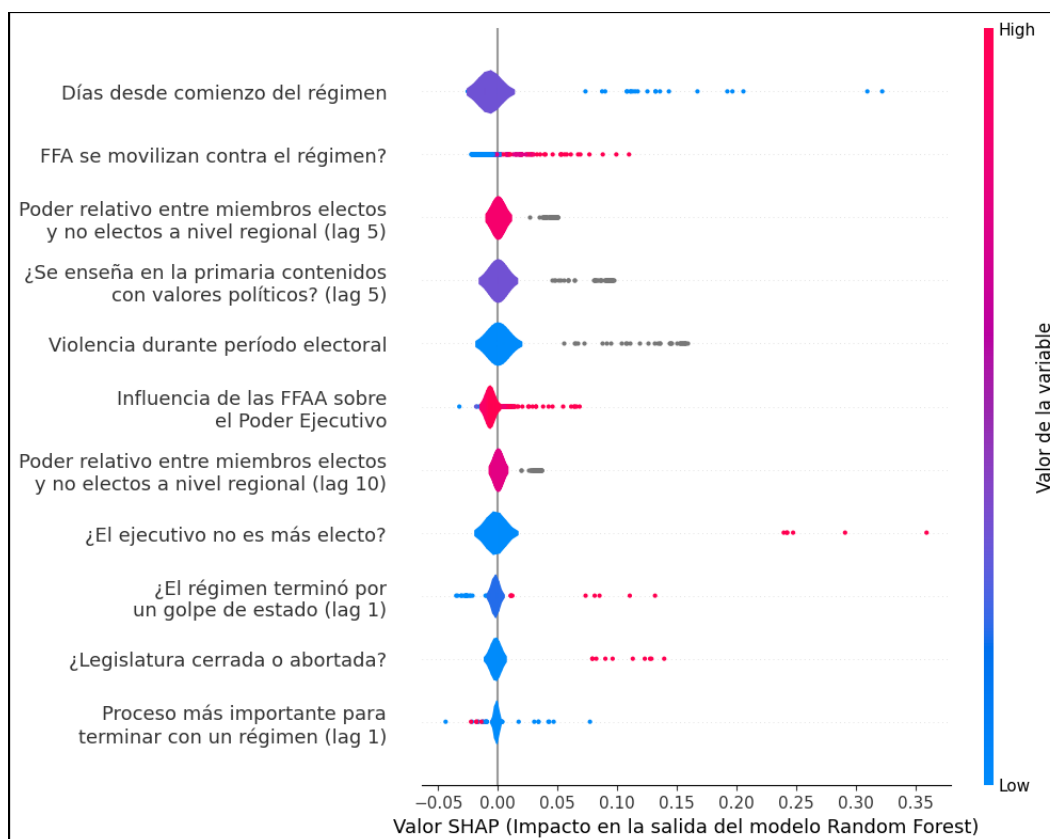


Figura 4: Shapley values para predicción 2020-2022 (Random Forest)

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.

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

## 5. Conclusiones

- Resumen de los hallazgos principales
- Conclusiones generales y su relación con los objetivos del trabajo

497 - Recomendaciones para futuros trabajos

498 **6. Anexo**

499 **6.1. Código**

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

504 **6.2. Golpes**

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

506 **6.3. Gráficos y tablas adicionales**

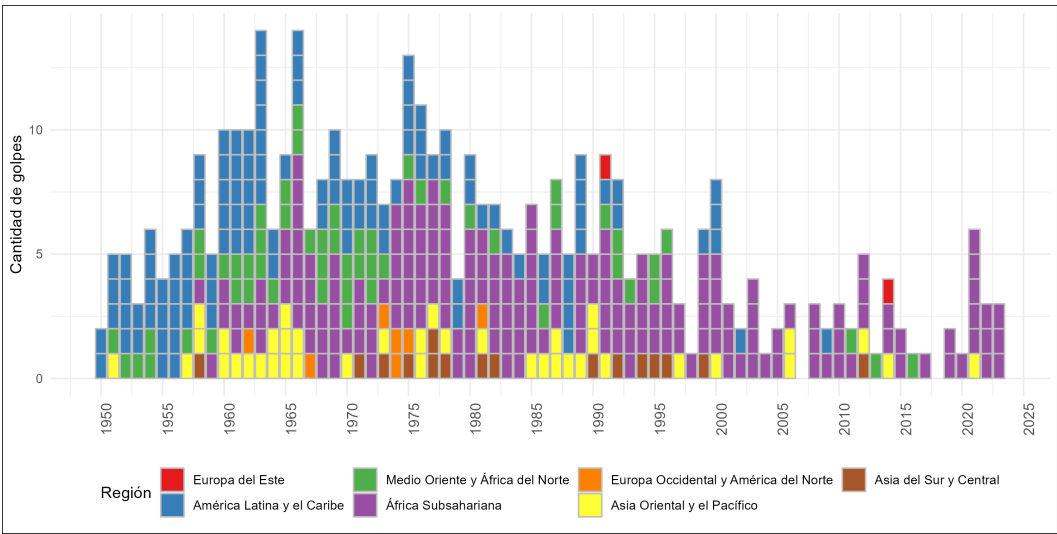


Figura 5: Conteo de golpes por año y región (Powell y Thyne, 2011)

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](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*



544  
545

*Dataset v14\* Varieties of Democracy (V-Dem) Project* (Report). <https://doi.org/https://doi.org/10.23696/mcwt-fr58>