

Análisis de Homicidios Intencionales en Ecuador mediante Modelos de Regresión de Árbol y Bosque Aleatorio**Analysis of Intentional Homicides in Ecuador through Regression Tree and Random Forest Models.***Holger Alfredo Zapata Mayorga, Mgtr. Atal Kumar Vivas***CONFLUENCIA DE INNOVACIONES CIENTÍFICAS****Enero - junio, V°5-N°1; 2024**

- ✓ **Recibido:** 08/04/2024
- ✓ **Aceptado:** 19/04/2024
- ✓ **Publicado:** 30/06/2024

PAÍS

- Ecuador
- Ecuador

INSTITUCIÓN:

- Universidad Politécnica Estatal del Carchi
- Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí

CORREO:

- ✉ holger.zapata@upec.edu.ec
- ✉ akvivas@espe.edu.ec

ORCID:

- ⑤ <https://orcid.org/0000-0001-6397-6463>
- ⑤ <https://orcid.org/0000-0002-5983-7943>

FORMATO DE CITA APA.

Zapata, H. Kumar, A. (2024). Análisis de Homicidios Intencionales en Ecuador mediante Modelos de Regresión de Árbol y Bosque Aleatorio. *Revista G-ner@ndo, V°5 (N°1)*, 624 -646.

Resumen

Desde el año 2018 en Ecuador se observa un crecimiento exponencial en el cometimiento del Homicidio Intencional (HI), por el accionar de Grupos Criminales Organizados (GDO), lo que ha situado al país entre los más violentos de la región. Por eso, el presente estudio que estima un modelo de aprendizaje automático basado en bosque aleatorio, permite predecir el cometimiento de este tipo de violencia en base a otros tipos penales. Esto permitirá a instituciones del sector justicia intervenir de forma óptima y sustentada en información con el objetivo de reducir la criminalidad y garantizar niveles adecuados de seguridad y convivencia ciudadana.

Palabras clave: homicidio intencional, aprendizaje automático, bosque aleatorio**Abstract**

Since 2018 in Ecuador, there has been an exponential growth in the commission of Intentional Homicide (HI), due to the actions of Organized Criminal Groups (GDO), which has placed the country among the most violent in the region. Therefore, the present study, which estimates a machine learning model based on random forest, allows predicting the commission of this type of violence based on other types of crimes. This will allow institutions in the justice sector to intervene optimally and based on information with the aim of reducing crime and guaranteeing adequate levels of security and citizen coexistence.

Keywords: intentional homicide, machine learning, random forest

.



Introducción

A nivel mundial, para establecer y determinar el nivel de la violencia que se tiene en un País, se utiliza la relación entre los Homicidios Intencionales y la población, la mayoría de países han adoptado esta medida para dar seguimiento a la inseguridad y violencia en sus localidades, ya que, es deber del estado garantizar la seguridad interna, transfronteriza, mediante la prevención de la delincuencia y la violencia común (Rotberg, 2003), dentro de la categoría de delitos violentos, la frecuencia de homicidios que se registre, representa el éxito o fracaso del estado en proporcionar seguridad y es la métrica más precisa del nivel de violencia de un país (Pearce, 2010).

El indicador para medir la violencia es la Tasa de Homicidios Intencionales (THI) por cada 100.000 habitantes, que parte de la Clasificación Internacional del Delito con Fines Estadísticos, donde un homicidio se define como "muerte ilegítima infligida a una persona con la intención de causarle la muerte o lesiones graves" (United Nations Office on Drugs and Crime, 2019). Considerando esta definición, muchas líneas de investigación y tratamiento del homicidio se derivan, con el objeto de adquirir conocimientos que permita a los Estados implementar políticas para reducir los niveles de violencia en sus territorios, este tratamiento y medida de la violencia va mucho más allá de un criterio jurídico y legal, ya que puede estar sujeto a la normativa legal vigente de uno u otro País o Estado. Otro aspecto a considerar es que, los homicidios son un problema para la sociedad, están asociados con la desintegración social y el deterioro institucional, lo que representa la falla más visible de la capacidad del Estado por garantizar la seguridad a sus habitantes (Crosi y Gomez, 2023). La literatura muestra que las causas de homicidios son variadas, relacionadas con factores estructurales, sociales e institucionales (Dammer et al., 2014), sustentado en muchos modelos casuísticos, que no son del todo válidos en la mayoría de países donde se han aplicado. Por esto, se busca predecir el cometimiento de homicidios intencionales, asociados y relacionados con otros tipos de violencia

y delitos, para lo cual, se plantea estudiar una posible relación con delitos comunes como: robo a personas, robo a domicilios, robo de carros, robo de motos, robo de partes y autopartes de vehículos y robo de unidades económicas, ya que los robos son el principal problema de inseguridad que afecta a la región, además se tiene registros de que el 80% de robos se realizan a mano armada (Mullo et al., 2019). Otro aspecto que también se considera en este estudio, es relacionar el homicidio intencional con delitos transnacionales como la tenencia y tráfico de armas, tenencia y tráfico de sustancias sujetas a fiscalización y lesiones, delitos que por lo general están asociados al crimen organizado, evidencia de esto, es que, en América Latina el 50% de homicidios intencionales están relacionados a grupos de delincuencia organizada, (United Nations Office On Drugs And Crime, 2023).

Para el análisis de este tipo de violencia, diversas hipótesis se han planteado para explicar el comportamiento y la evolución temporal del homicidio, sin embargo, este artículo, plantea establecer una relación entre el comportamiento evolutivo del homicidio asociado a las variables antes indicadas, para esto, se construyen modelos sustentados en regresión de árbol y bosque aleatorio para su tratamiento.

Considerando que Ecuador se encuentra en la región con la mayor tasa de homicidios intencionales, para el año 2021 la Tasa de Homicidio Intencional de América registró 15 homicidios por cada cien mil habitantes, superando las tasas de África (12,7), Oceanía (2,9), Asia (2,3) y Europa (2,2) (United Nations Office On Drugs And Crime, 2023).

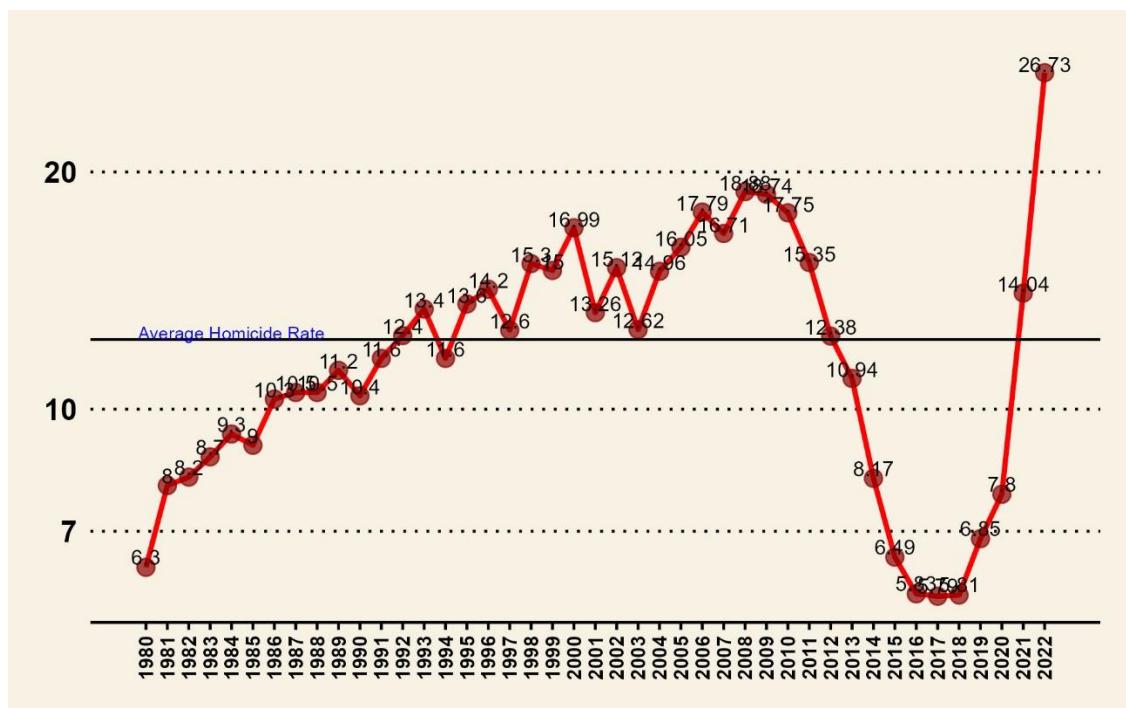
Otro aspecto geográfico a considerar es que el Ecuador limita al norte con Colombia, país que históricamente ha registrado las mayores tasas de violencia a nivel mundial, debido al conflicto armado interno que existe desde 1964, así en 2018, Colombia registró una tasa de Homicidios por cien mil habitantes de 25 (Hernández, 2021), esto, en gran medida, se debe a que es el mayor productor de Coca del mundo con la producción de las dos terceras partes de superficie para la siembra (United Nations, 2021), lo que causa una pugna entre grupos

criminales por manejar el mercado de producción y comercialización de narcóticos, que por lo general están asociados a economías y mercados ilegales transnacionales.

Al sur limitamos con Perú, país que se ubica como el segundo mayor productor de hoja de coca después de Colombia, alcanzando un techo histórico en 2022 con 95008 hectáreas de tierra dedicadas al cultivo de coca, (Voss, 2023).

A pesar de este entorno geográfico, Ecuador registró entre 2009 y 2018 un decrecimiento de la violencia según la tasa de homicidios intencionales, pasando de 18,9 en 2008 a 5,8 homicidios por cada cien mil habitantes en 2018, ver figura 1; ubicando a Ecuador entre los países menos violentos de la región, (Pontón et al., 2020). Es por esto, que es necesario contribuir con información que genere conocimiento para la erradicación de este tipo de violencia que presenta una tendencia creciente en el País, de forma que se tenga nuevamente un comportamiento decreciente del homicidio.

Figura 1: Serie evolutiva de la Tasa de Homicidios Intencionales Ecuador 1980-2022



Históricamente el comportamiento de este indicador, muestra fluctuaciones, así, desde 1980 hasta el 2009 se observa una tendencia creciente de la THI, a partir del 2009 hasta el 2018, el comportamiento de la THI decrece llegando a un dígito 5,7 homicidios por cien mil habitantes que es el valor más bajo de toda la serie que se presenta en la figura 1. Esto permitió que Ecuador se posicione como uno de los países más seguros de América Latina, lo que influyó en el aumento de inversión económica, crecimiento del PIB y aumento del turismo, entre otros beneficios, (Silva y Lozano, 2022).

Esta tendencia empieza a revertirse entre el 2019 hasta el 2022, año en el cual la THI alcanza un valor de 26.73 homicidios por cada cien mil habitantes, siendo el valor máximo registrado de los últimos diez años superando al promedio histórico. Esta situación es crítica, evidencia un incremento de la violencia en el País, por lo que, debe ser motivo de estudio y análisis para el Estado Ecuatoriano, particularmente para las instituciones encargadas de la seguridad y convivencia ciudadana, desde el ámbito tanto preventivo como reactivo.

En este contexto, el artículo busca estimar un modelo que permita predecir el comportamiento de los homicidios intencionales en Ecuador, con el propósito de establecer acciones de intervención por parte de las autoridades orientadas a su reducción.

Si bien los homicidios intencionales han estado presentes a lo largo de toda la historia de la humanidad, se considera que estos pueden ser prevenidos, mediante planes programas y proyectos sustentados en información, (Oficina de las Naciones Unidad Contra la Drogas y el Delito, 2023).

Para la investigación que se pretende realizar, es necesario determinar y consolidar las variables dependiente como las independientes, el tipo de cada variable, la fuente de información de que se recopilará y la homogeneidad de las mismas, de forma que se establezca una base

de datos adecuada para el procesamiento y análisis. Para esto, se recopila la data disponible en el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), Fiscalía General del Estado y del Ministerio del Interior, instituciones que constituyen fuentes primarias de información, como se describe en la tabla siguiente.

Tabla 1. Descripción de variables para el modelo

Tipo de Violencia	Descripción	Tipo Penal	Fuente de dato
Lesiones	La persona que lesione a otra	Art. 152	Sistema Integrado de Actuaciones Fiscales (SIAF) - ANALÍTICA FGE
Tenencia_armas	La persona que tenga armas de fuego sin autorización	Art. 360	Sistema Integrado de Actuaciones Fiscales (SIAF) - ANALÍTICA FGE
tráfico_armas	Tráfico ilícito de armas	Art. 362	Sistema Integrado de Actuaciones Fiscales (SIAF) - ANALÍTICA FGE
tráfico_sustancias	Tráfico ilícito de sustancias catalogadas sujetas a fiscalización	Art. 220	Sistema Integrado de Actuaciones Fiscales (SIAF) - ANALÍTICA FGE
R_autopartes	Robo de bienes, accesorios y autopartes de vehículos ¹	Art. 189	Insituto Nacional de Estadística y Censos
R_carros	Robo de carros ¹	Art. 189	Insituto Nacional de Estadística y Censos
R_domicilio	Robo a domicilio ¹	Art. 189	Insituto Nacional de Estadística y Censos
R_motos	Robo de motos ¹	Art. 189	Insituto Nacional de Estadística y Censos
R_personas	Robo a personas ¹	Art. 189	Insituto Nacional de Estadística y Censos
R_ueconomicas	Robo a unidades económicas ¹	Art. 189	Insituto Nacional de Estadística y Censos
Homicidio_intencional	Asesinato, Femicidio, Sicariato, Homicidio	Art. 140, Art. 141, Art. 143, Art. 144	Dirección Nacional de Delitos contra la Vida, Muertes, Violentas, Desapariciones, Extorsión y Secuestros (DINASED) - Ministerio de Gobierno

¹Desagregaciones del delito de Robo

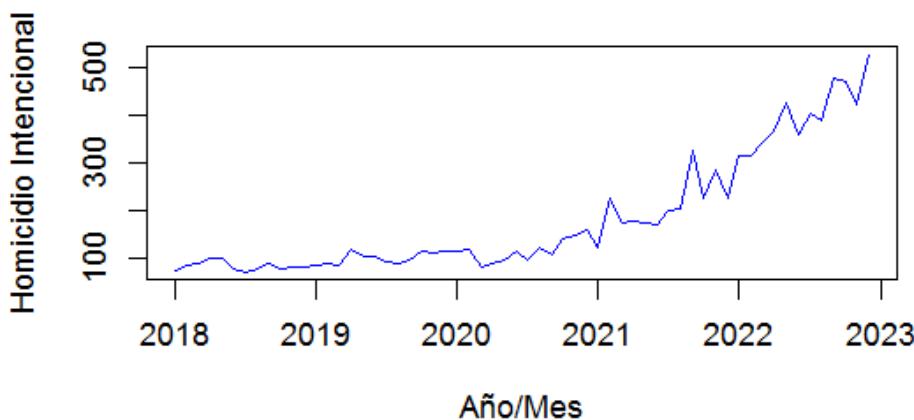
La tabla 1, muestra las variables que intervendrán en la estimación del modelo, una descripción de cada una, el tipo penal asociado y la fuente primaria del dato. La particularidad de las variables es que no todas corresponden a tipos penales, como las desagregaciones del robo, que, si bien se tipifica como un tipo penal, para este estudio al analizar la violencia y la seguridad ciudadana, se desagrega en los seis tipos que se muestra en la tabla 1. La variable dependiente,

conforme a lo indicado es el homicidio intencional, que está conformado por los tipos penales: asesinato, sicariato, femicidio y homicidio, lo que permite dar seguimiento del comportamiento de la violencia, plantear y evaluar políticas de seguridad, establecer planes, programas y proyectos permita al Estado mitigar este flagelo de inseguridad. El conjunto de variables independientes se conformó por las desagregaciones del robo (delitos comunes) y los tipos penales asociados con el crimen organizado transnacional, relaciones han sido poco investigada, pero que dada las dinámicas delictuales y de violencia que se tiene en América Latina, ameritan ser investigadas.

Materiales Y Métodos

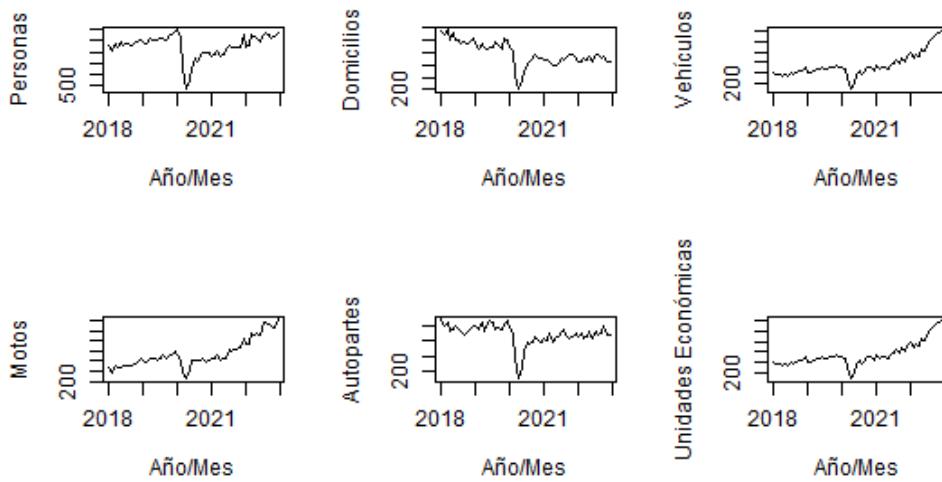
Para este estudio, se consolidó una base de datos temporal por mes, consta de 60 observaciones, que inicia desde enero de 2018 hasta diciembre de 2022, cada una con el número de homicidios en el mes de referencia, esta variable fue recabada del Ministerio del Interior, son registros administrativos que provienen del acta de levantamiento de cadáver, protocolo de autopsia y parte policial, en el estudio es la variable dependiente ver figura 2.

Figura 2. Comportamiento evolutivo de los homicidios intencionales por mes



Los robos a personas, robo de carros, robo de domicilios, robo de motos, robo de partes y autopartes de vehículos y robo de unidades económicas, se recabó del Instituto Nacional de Estadística y Censos información sobre justicia y crimen en el mismo periodo de tiempo, con la misma desagregación mensual, información que se deriva de las denuncias de robo, y partes policiales del servicio comunitario de la Policía Nacional.

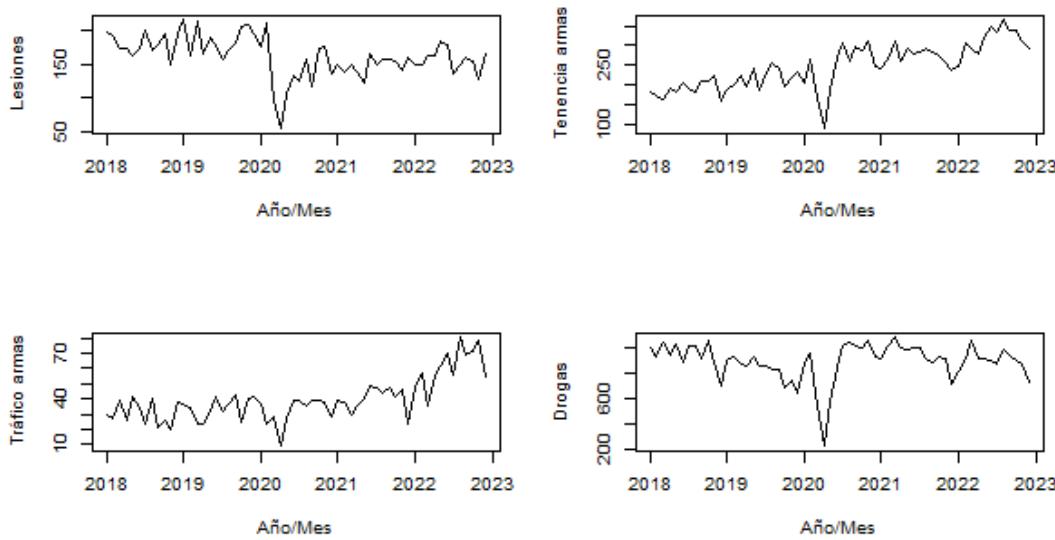
Figura 3. Comportamiento evolutivo de las desagregaciones del robo



La figura 3, presenta el comportamiento evolutivo de las desagregaciones del robo, todas estas indican un descenso entre 2019 y 2020, lo que puede ser a causa de la pandemia que se presentó en todo el planeta.

Los datos de Tenencia y tráfico de armas, tenencia y tráfico de sustancias sujetas a fiscalización y Lesiones, se accedió desde las denuncias de los tipos penales que proporciona la fiscalía general del Estado, con igual desagregación mensual.

Figura 4. Comportamiento evolutivo de delitos de lesiones, tenencia de armas, tráfico de armas y tráfico de sustancias sujetas a fiscalización (drogas)



La figura 4, muestra tendencia creciente en la tenencia y tráfico de armas, mientras que las lesiones y el tráfico de sustancias sujetas a fiscalización tienen un comportamiento homogéneo, registrando también un descenso en los meses que duró la pandemia.

Se inicia el estudio realizando un análisis exploratorio, y de correlaciones entre las variables consolidadas para el estudio, esto, para determinar posibles relaciones entre la variable de interés o dependiente que es el homicidio intencional, con las variables independientes que se conforman por las desagregaciones del robo y los tipos penales relacionados a delitos transnacionales, se analiza si tienen algún tipo de relación, que puede ser causal o de predicción con la variable dependiente, finalmente al establecer el modelo que mejor estime el homicidio, se determinará las covariables que intervendrán en la predicción (Nolasco, 2020), cabe recalcar que los datos son temporales desde enero de 2018 hasta diciembre de 2022, recabados en frecuencias absolutas y la disponibilidad de las fuentes de datos.

Otro aspecto a considerar es, si la variable dependiente sigue algún tipo de distribución de probabilidad, ya sea para estimar un modelo lineal o lineal generalizado, así, se prueba normalidad (Rencher y Schaalje, 2007), o si se distribuye con algún tipo que pertenezca a la familia exponencial (Dunn y Smyth, 2018).

Al realizar las pruebas de Shapiro-Wilk y de Kolmogorov-Smirnov indican que se rechaza la hipótesis nula de normalidad de los homicidios intencionales, tampoco indica que siguen una distribución Binomial, Poisson o Binomial Negativa, que son las que esperaríamos que presente la variable dependiente por la naturaleza del fenómeno de violencia.

De lo expuesto en los párrafos anteriores, es claro que no se puede aplicar algún tipo de modelo lineal, por lo que se procede desarrollar un modelo de Aprendizaje Automático, que son parte de los modelos árbol, en los que, cuando la variable respuesta es continua, se aplica regresión árbol (Giudici, 2003), generalizando la metodología, para la estimación del modelo planteado, se utiliza el método que se conoce como *bosque aleatorio*, para el que el algoritmo construye cientos de modelos de regresión de árbol y los combina en un modelo simple (Williams, 2011) que es parte de los modelos de aprendizaje supervisado.

Con el desarrollo de bosque aleatorio, se pretende estimar una función para describir con precisión una variable respuesta combinada con diferentes variables explicativas (Baumer et al., 2017), considerando también el pasado en el ámbito de la estadística multivariada (Crawley, 2013), esto por la capacidad que tienen los modelos de aprendizaje automático en la predicción de la variable respuesta, con gran precisión en grandes volúmenes de datos (Faraway, 2016).

Para estimar el modelo de regresión por bosque aleatorio, usaremos la librería randomForest de R, el cual permite realizar modelos predictivos y de clasificación, el estudio se focaliza en estimar un modelo predictivo para el comportamiento de los homicidios intencionales en el Ecuador. La metodología, establece que, en el bosque aleatorio, cada nodo es dividido

usando el mejor subconjunto de predictores elegidos aleatoriamente en cada nodo (Liaw y Wiener, 2002).

Teóricamente un bosque aleatorio es una colección de árboles estructurados clasificados (Breiman, 2001), donde:

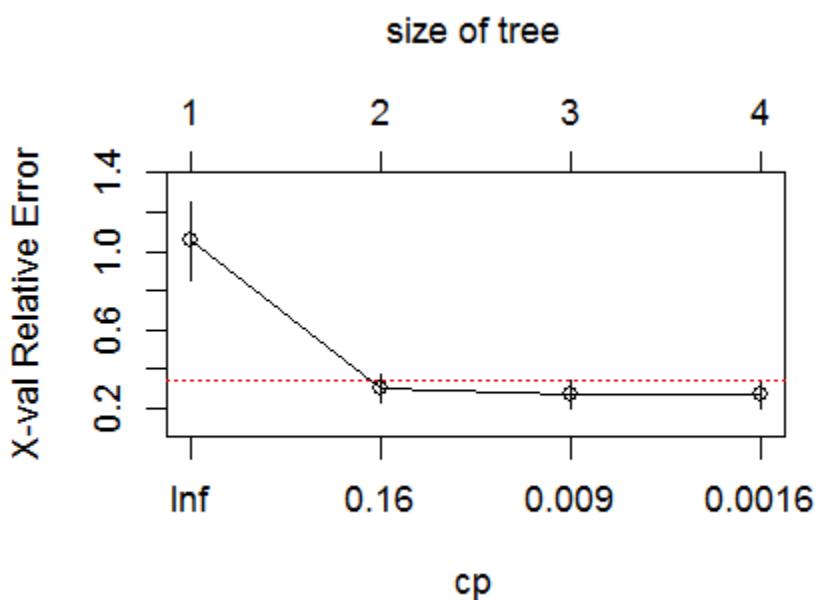
$\{h(x, \theta_k), k = 1, \dots\}$, con θ_k es un vector aleatorio idénticamente distribuido, el objetivo de construir estos árboles y realizar las divisiones en nodos es minimizar la suma de residuos cuadrados (James et al., 2013), que es dado por:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i \in R_j} (y_i - \hat{y}_{R_j})^2 \quad (1)$$

Donde \hat{y}_{R_j} es la respuesta media de las observaciones del conjunto de entrenamiento en la división j.

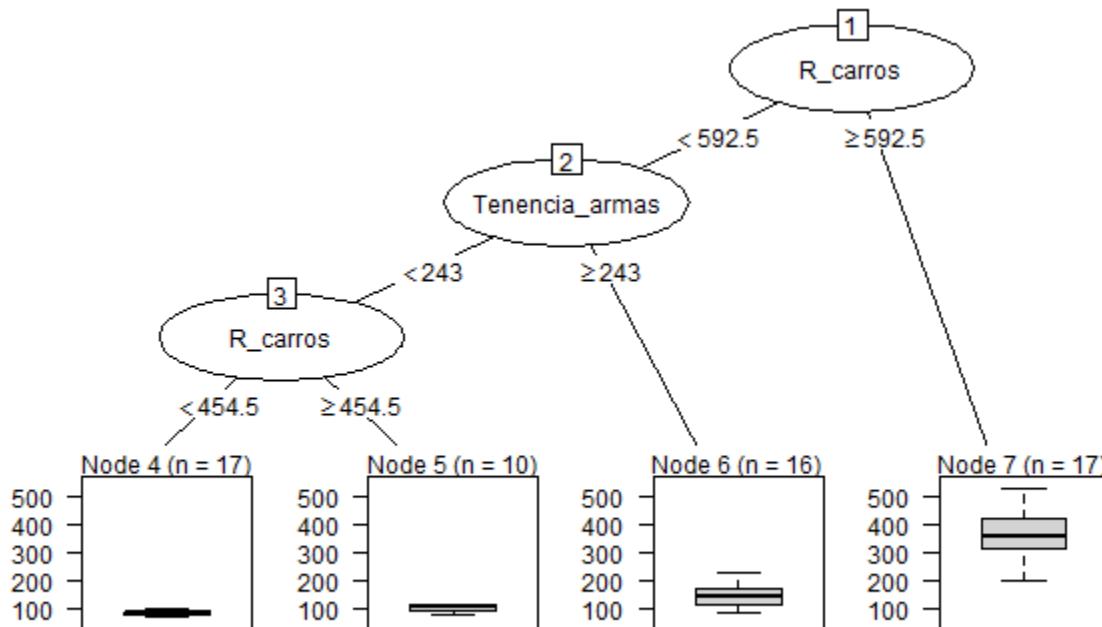
Ahora, nos concentraremos en observar cómo se reduce el error de validación cruzada conforme el tamaño del árbol y el valor del parámetro de complejidad (cp).

Figura 5. Estimación de nodo terminal por validación cruzada

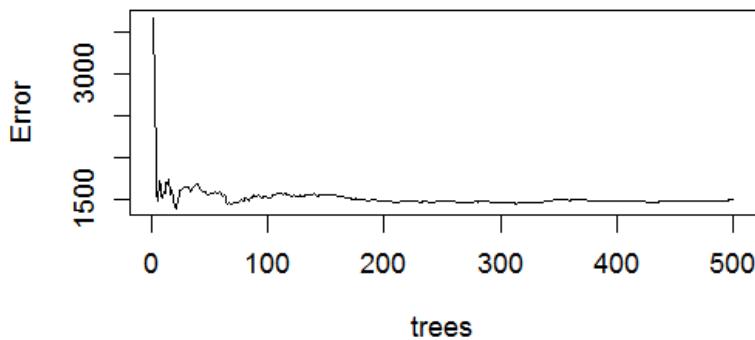


La figura 5, muestra un número óptimo de árboles mayores a dos, para minimizar el error en las predicciones, para nuestro propósito, se tiene un óptimo de tres árboles en cada nodo, con un error de validación cruzada de alrededor de 0,25 y un pequeño valor del parámetro de complejidad cp.

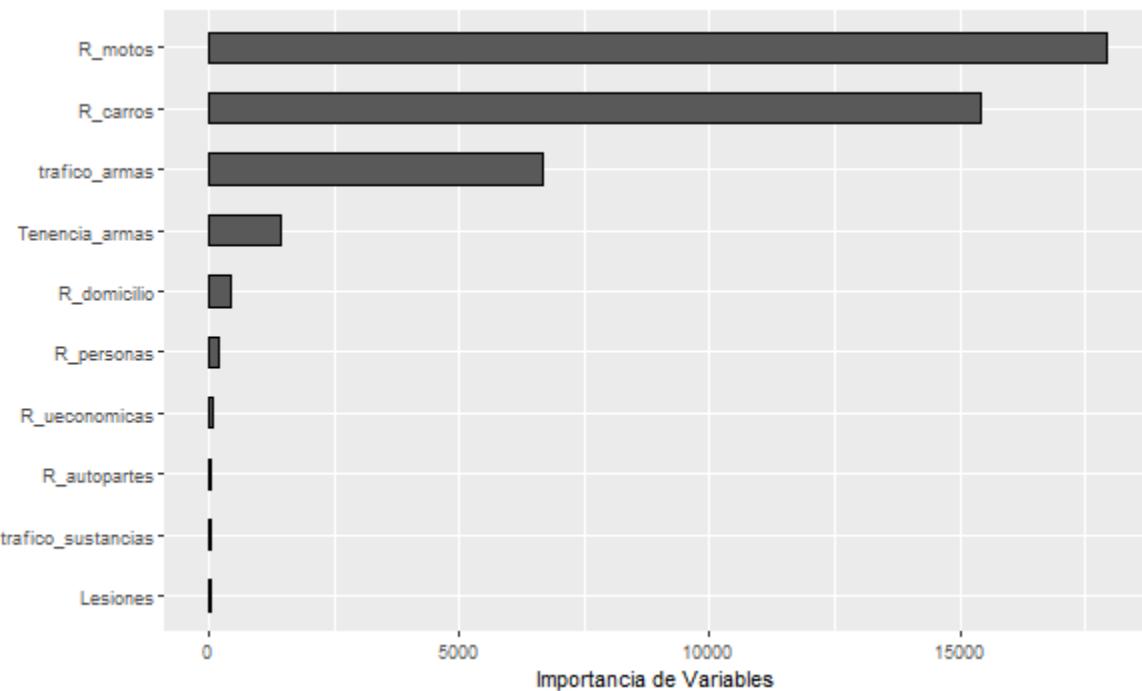
Figura 6. Determinación de nodos para la estimación de la regresión de árbol



La figura 6, muestra que de las 10 variables que se recabó para la construcción del modelo, las que más influyen en la predicción del homicidio son el robo de carros y la tenencia de armas, lo que guarda cierta correspondencia con el análisis exploratorio de correlaciones entre variables. A partir de esta primera aproximación el bosque aleatorio probará todas las posibles combinaciones y determina el mejor modelo que predice la variable respuesta, adicional a esto muestra que a partir del cuarto nodo hasta el séptimo se mejora las estimaciones de interés.

Figura 7. Estabilidad del error estimado por bosque aleatorio

La figura 7, muestra que con 500 árboles en el bosque aleatorio estimado se tiene un nivel de error estable y relativamente bajo, con esto se procede a determinar las variables que mejor ajustan el modelo predictivo.

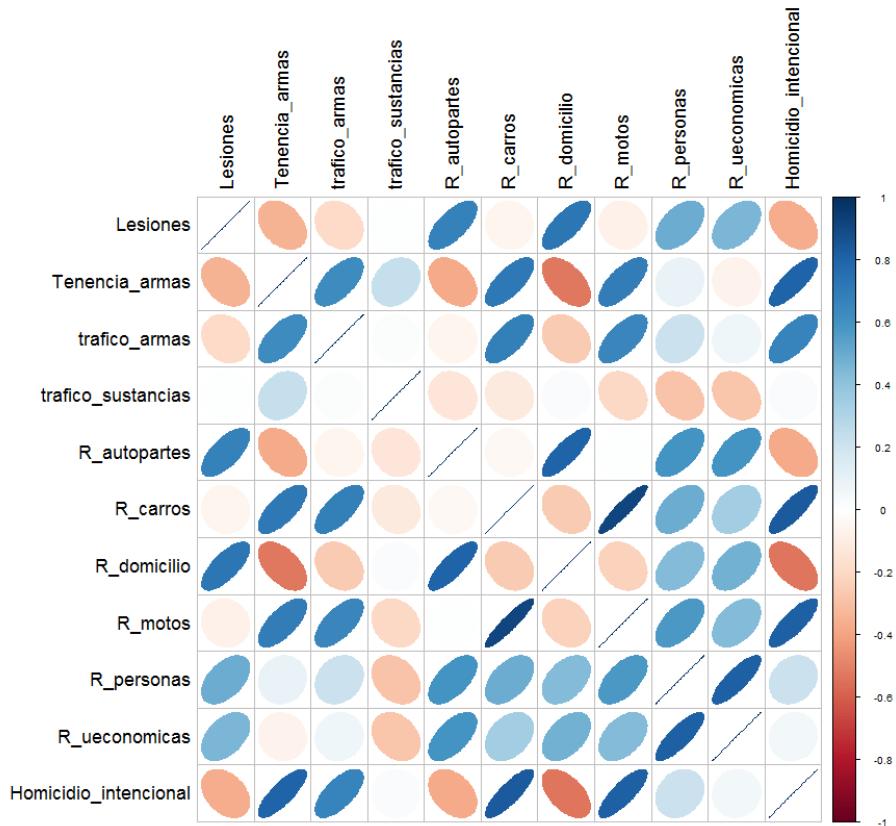
Figura 8. Importancia de las variables en bosque aleatorio

El modelo estimado por bosque aleatorio, explica aproximadamente el 90% de la variabilidad, adicional a esto, la importancia de cada variable se tiene en la figura 8 en el modelo final estimado, esto se determina evaluando el error cuadrático medio que se tiene con cada variable que interviene, así, las covariables que más influyen son: el robo de carros, robo de motos, el tráfico y la tenencia de armas.

Análisis de Resultados

Del análisis de correlación, se observan posibles relaciones de los homicidios intencionales con las variables, que se muestra en la figura siguiente.

Figura 9. Análisis de correlación entre las variables



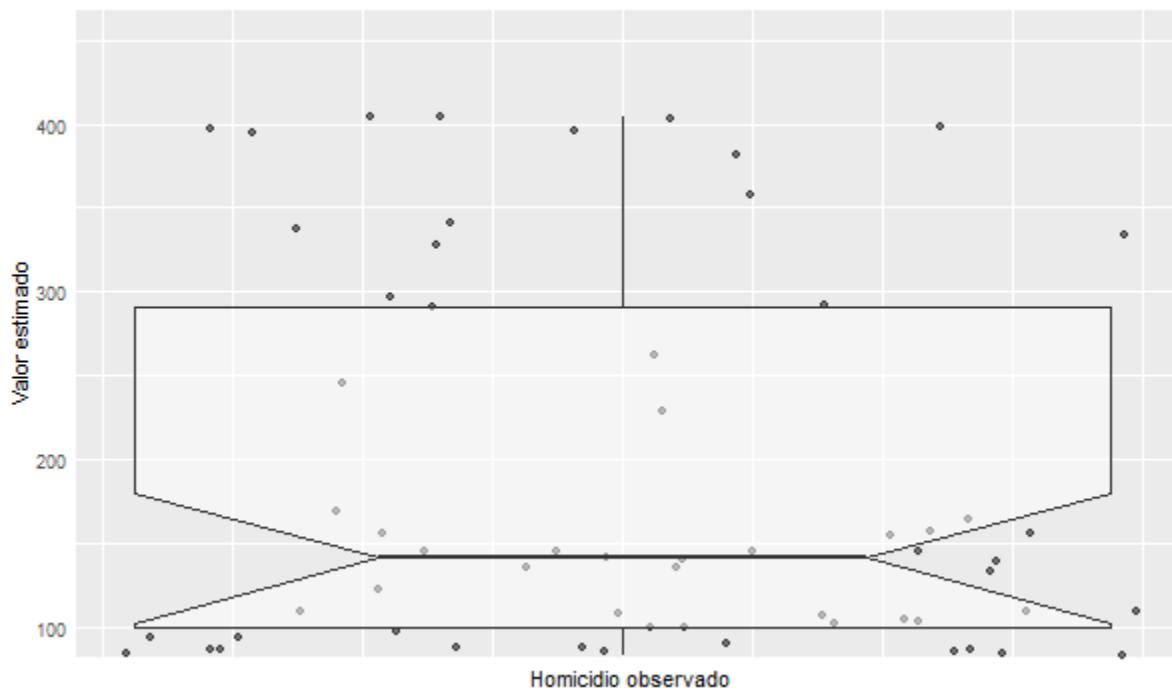
La figura 9 muestra el nivel de correlación entre el homicidio y otras variables que pueden estar relacionadas positiva o negativamente, este valor esta entre -1 y 1 dependiendo del grado

de correlación (Ross, 2010), así, se tiene valores de correlación positiva con la tenencia de armas, el tráfico de armas, el robo de carros y el robo de motos, mientras que se tiene correlación negativa con las lesiones, el robo de autopartes de vehículos y con el robo a domicilio, y se tiene una correlación nula con el tráfico de sustancias ilícitas y el robo a personas, lo que llama la atención, cuando desde el Gobierno del Ecuador indican que el despunte de homicidios intencionales se debe a su posible relación con el narcotráfico y el crimen organizado.

El modelo supervisado de aprendizaje automático por bosque aleatorio, logra cumplir el objetivo del presente estudio, esto es, permite predecir los cometimientos de homicidios intencionales, pese a que el crimen no es sistemático ni aleatorio (Abdulraheem et al., 2022). Esto permitirá plantear de forma adecuada planes programas y proyectos que impacten en el corto plazo en factores que influyen en este tipo de violencia, estos son el robo de carros, robo de motos, la tenencia ilícita de armas de fuego y el tráfico ilícito de armas de fuego y municiones. A largo plazo también contribuye al diseño y generación de políticas públicas, de forma que se logre mantener y mejorar los niveles de seguridad en el Ecuador.

El modelo estimado luego de entrenarse con aproximadamente 500 árboles en tres nodos, presenta un $R^2 = 0.90$, valor superior a un posible modelo lineal, es importante indicar que el modelo entrega predicciones y estimaciones óptimas, sin embargo a nivel explicativo no es del todo adecuado, esto, ya que es la estimación futura del cometimiento de homicidios lo que se persigue con este modelo basado en bosque aleatorio al minimizar la distancia entre las observaciones de la variable dependiente y los valores obtenidos con el índice de Gini o entropía (Ordoñez et al., 2020).

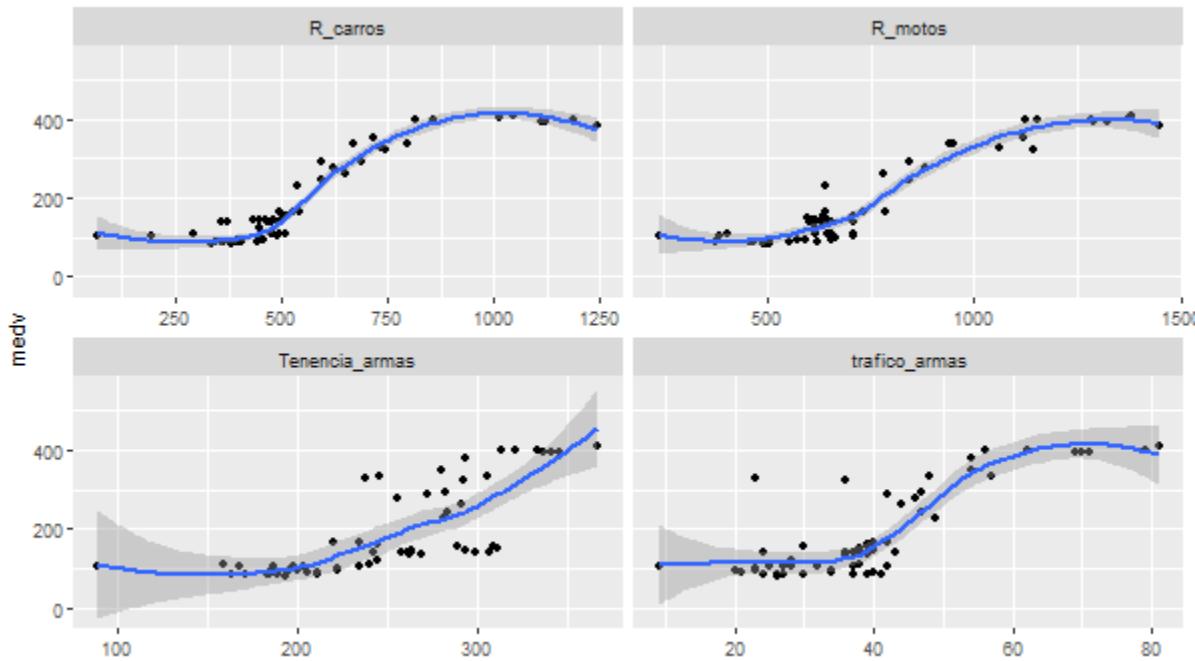
Figura 10. Distribución de valores predichos con el modelo



El comportamiento del homicidio intencional, se relaciona desde el enfoque jurídico con tres tipos penales el Robo que por lo general es parte de la delincuencia común, y dos tipos penales que están relacionados con el Crimen Organizado Transnacional que son, el tráfico y la tenencia de armas. Sin embargo, desde la violencia y victimización se tiene una fuerte relación con el robo de carros y el robo de motos. Esto se presenta en la figura 10, en la que, cada punto corresponde al valor medio predicho por el modelo de bosque aleatorio (Ehrlinger, 2015), esto por cada observación que se tiene en el conjunto de entrenamiento y su distribución se representa en el diagrama de caja.

A continuación, se muestra el comportamiento de la variable dependiente y las covariables determinadas según el modelo de bosque aleatorio, esto permite también validar las estimaciones realizadas.

Figura 11. Predicción de la variable dependiente según variables explicativas con el 95% de confianza



La figura 11, presenta el comportamiento de la variable dependiente Homicidio Intencional, con los predictores que más influyen en la estimación del modelo, cada variable tiene una relación positiva no decreciente con el Homicidio. De las diez variables iniciales, en la estimación del modelo óptimo luego del entrenamiento se seleccionan cuatro covariables para la predicción, sobre las que se tienen que intervenir, esto, permite al Estado y a las instituciones del sector justicia orientar y determinar planes de intervención priorizadas para mejorar los niveles de seguridad en la población.

Discusión

Según la *teoría del patrón delictivo*, la delincuencia y violencia tienen un comportamiento basado en patrones, esto ha permitido el estudio desde muchas disciplinas del conocimiento. En este sentido son muchos los métodos estadísticos que se han implementado para el estudio del

homicidio intencional, así se tiene relaciones entre el tipo de arma, con variables temporales como el día y hora, variables descriptivas como el sexo, el rango de edad, la etnia, provincia, estado civil y nacionalidad (Abril et al., 2022).

Otros desarrollos se desarrollan para predecir el homicidio, esto permite fortalecer la parte reactiva ante la producción de este fenómeno, un análisis de series temporales y redes neuronales se tienen en (Vivas y Vivas, 2024), donde se tiene buenas estimaciones con un modelo de red neuronal, sin embargo se predice únicamente la serie temporal del homicidio, sin relacionarlo con otras covariables, que podrían influir en el cometimiento del mismo, limitación que con el modelo desarrollado en el presente estudio se logra cubrir.

La predicción de los Homicidios Intencionales, se realizó por medio de una regresión de árbol basada en bosque aleatorio “random forests”, esto ya que no es posible adecuar algún modelo probabilístico, como regresión lineal o un modelo lineal generalizado.

De acuerdo a las predicciones obtenidas con el modelo, se observa que se mantendrá la tendencia creciente de los homicidios intencionales. De las diez variables independientes o explicativas que se utilizaron en la estimación del modelo predictivo, cuatro covariables son seleccionadas y proporcionan los mejores resultados en la predicción de la variable dependiente, estas son: Robo de carros, robo de motos, tenencia de armas y tráfico de armas, todas estas variables pronostican un comportamiento creciente del homicidio, lo que, de no ser intervenidas oportunamente, profundizaría los niveles de violencia a futuro en nuestro País (ver figura 11).

El modelo muestra un valor bajo del error cuadrático medio, y un valor alto del R^2 , esto significa que los valores predichos por bosque aleatorio están mucho más cerca de los valores reales observados, otra consideración que entrega el modelo es que, a medida que transcurra el tiempo y si no se interviene óptimamente el fenómeno mantendrá incrementándose, impactando negativamente en la seguridad de nuestro País.

La estimación del modelo permite establecer acciones específicas de intervención desde diferentes instituciones estatales como Fiscalía, Policía, Justicia y Fuerzas Armadas, así algunas acciones son: la intervención en robos de carros y motos, se debe acentuar una vigilancia preventiva desde la Policía Comunitaria o de proximidad, identificar posibles centros de acopios que se encargan de transformar, clonar, desmantelar y vender partes y piezas de carros o motos, mejorar el sistema de video vigilancia atado a un plan territorial de intervención. Establecer líneas investigativas sobre la posible relación de estos objetos en el cometimiento de otros tipos de delitos que pueden estar relacionados al homicidio intencional, esto desde la parte reactiva e investigativa, lo que impactaría directamente con la prevención, tratamiento e intervención primaria del crimen, que debe sustentarse en una reforma a la justicia criminal (Rivera, 2010), que permita también combatir nuevas formas criminales que se puedan presentar asociadas al homicidio intencional.

Si bien del análisis exploratorio de la data no es posible realizar modelos que permitan entender el fenómeno desde un componente casuístico, esto por las limitaciones en las desagregaciones, temporalidades y geolocalizaciones, sin embargo, el modelo estimado permite tener una comprensión macro del problema de seguridad y violencia, permitiendo predecir el homicidio, en función de covariables que contribuyen a su presencia temporal.

Por último, un aspecto no menos importante, es que el modelo logra considerar los picos bajos en los datos de la serie temporal, que son a causa de la pandemia de COVID, lo que no necesariamente indica la no producción de estos tipos de violencia, sino que por las acciones para combatir la misma no permitió que sean reportados y evidenciados a las instituciones pertinentes.

Para estudios futuros, se debe plantear objetivos con desagregaciones territoriales más próximos a la población en riesgo, que dé cuenta de unidades geográficas como provincia, cantón y parroquia, esto permitiría considerar particularidades territoriales del comportamiento

del homicidio en una u otra región antes indicada, todo esto será posible en base de la producción y difusión de información de las instituciones responsables de la generación del dato primario, necesario para un estudio y análisis más desagregado de este y diferentes fenómenos criminales que pueden estar relacionados con el tipo de violencia tratado.

Conclusiones

El presente estudio es una primera aproximación para estimar y predecir el comportamiento de un indicador que es utilizado a nivel internacional para establecer el nivel de violencia que se tiene en un País, región o ciudad, los estadísticos presentados validan la estimación determinada por medio de bosque aleatorio para el efecto.

Las variables que mejor predicen el cometimiento de un homicidio son, el robo de carros, el robo de motos, el tráfico de armas de fuego y la tenencia de armas de fuego, esta información, es de utilidad en un primer momento para las instituciones reactivas como Fuerzas Armadas, Policía Nacional y Fiscalía General del Estado, ya que, les permite implementar planes reactivos focalizados ante el cometimiento de estos tipos de violencia que están relacionadas tanto con delincuencia común como con estructuras criminales transnacionales que fomentan economías ilegales al servicio mafias.

El accionar operativo se tiene que orientarse en dos líneas definidas desde la violencia, que son el robo de carros y motos, que se sustenta en la prevención ambiental y situacional, impactando en la oportunidad del cometimiento. La siguiente línea de acción se orienta a delito transnacional la tenencia y tráfico de armas, ya que muchas de estas armas ingresan al Ecuador de manera ilícita y están en manos de grupos criminales, que por lo general son financiadas con dinero que proviene de actividades delictuales como actividades de Narcotráfico, para este tipo de delitos, es necesario el contar con agentes especializados en combatir la criminalidad

transnacional, inteligencia criminal, métodos de detección de economía ilegal, para lo que el aprendizaje automático y la inteligencia artificial pueden aportar significativamente.

Si bien el modelo estimado, permite establecer factores que inciden en el cometimiento de homicidios intencionales, lo que explica el crecimiento de la criminalidad en el País, para su mitigación y control inicial, no excluye la posibilidad de mejorar el nivel de análisis en territorios más focalizados, como provincias y ciudades, ya que el fenómeno de interés se produce en territorios definidos y asociados a problemáticas delictuales puntuales que pueden cometerse según el territorio, estas técnicas están definidas también en aprendizaje automático con datos y desagregaciones territoriales y geográficas.

Referencias bibliograficas

- UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME. (2 de 12 de 2023). *UNITED NATIONS. Office on Drugs and Crime:* <https://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/global-study-on-homicide.html>
- Abdulraheem, M., Awotunde, J., Oladipo, I., Adeleke, M., Ndunagu, J., Ayantola, J., y Mohammed, A. (2022). Crime rate Prediction using the Random Forest Algorithm. *LAUTECH Journal of Engineering and Technology*, 166-179.
- Abril, M., Chariguaman, N., y Aguilar, J. (2022). Análisis de Correspondencias Múltiples para el Estudio de los Homicidios Intencionales en Ecuador. *Revista Politécnica*, 50(3), 43-52.
- Baumer, B., Kaplan, D., y Horton, N. (2017). *Modern Data Science with R*. NW: CRC Press.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.
- Crawley, M. (2013). *The R book* (Second ed.). New Delhi, India.
- Crosi, G., y Gomez, J. (01 de Diciembre de 2023). *CELIV. Centro de Estudios Latinoamericanos* sobre Inseguridad y Violencia: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://celiv.untref.edu.ar/descargas/resu

men-explorando-las-causas-de-los-homicidios-una-compleja-interacci%C3%B3n-de-factores.pdf

Dammer, L., Croci, G., y Frey, A. (Febrero de 2014). ¿Por qué tanta violencia homicida en América Latina? "Caracterizando el fenómeno y expandiendo su marco de interpretación". *Documentos de trabajo nº 94 (2ª época), 94(8)*, 1-25.

Dunn, P., y Smyth, G. (2018). *Generalized Linear Models With Examples in R*. Australia: Springer.

Ehrlinger, J. (13 de Febrero de 2015). ggRandomForests: Random Forests for Regression.

chrome-

extension://efaidnbmnnibpcajpcgkclefindmkaj/https://arxiv.org/pdf/1501.07196.pdf

Faraway, J. (2016). *Extending the Linear Model with R* (Segunda ed.). NW: CRC Press.

Giudici, P. (2003). *Applied Data Mining*. Great Britain: Wiley.

Hernández, H. (2021). Homicidios en América Latina y El Caribe: magnitud y factores asociados.

Notas de Población, 119-144.

James, G., Witten, D., Hastie, T., y Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning* (Primera ed.). New York: Springer.

Liaw, A., y Wiener, M. (December de 2002). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18-22.

Mullo, H., Marcatoma, J., Peréz, N., y Gavilánez, V. (2019). Análisis estadístico espacial del robo a personas en la ciudad de Riobamba. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1-20.

Nolasco, A. (2020). Análisis de datos continuos: Modelos de Análisis de la Varianza y de la Covarianza. Alicante, Alicante, España. chrome-

extension://efaidnbmnnibpcajpcgkclefindmkaj/https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/113344/1/Analisis-de-datos-continuos_ANOVA-ANCOVA.pdf

Oficina de las Naciones Unidad Contra la Drogen y el Delito. (12 de Enero de 2023). *Naciones Unidas Oficina de las Naciones Unidad Contra la Drogen y el Delito*. Naciones Unidas Oficina de las Naciones Unidad Contra la Drogen y el Delito: chrome-

extension://efaidnbmnnibpcajpcgjclefindmkaj/https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/statistics/crime/ICCS/ICCS_SPANISH_2016_web.pdf

Ordoñez, H., Pardo, C., y Cobos, C. (2020). Detection of Homicide Trends in Colombia Using Machine Learning. *Revista Facultad de Ingeniería*, 1-19.

Pearce, J. (2010). Perverse state formation and securitized democracy in Latin America. *Democracy and Violence*, 17, 286-306.

Pontón, D., Rivera, F., y Amores, C. (2020). *El giro punitivo y la reducción del homicidios en el Ecuador, 2009-2018*. Quito: Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN).

Rencher, A., y Schaalje, B. (2007). *Linear Models in Statistics*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Rivera, F. (2010). *Inteligencia estratégica y Prospectiva* (Primera ed., Vol. I). Quito: Flacso.

Ross, S. (2010). *A First Course in Probability* (Octava ed.). New Jersey: Pearson.

Rotberg, R. (2003). Failed States, Collapsed States, Weak States: Causes and Indicators. *State Failure and State Weakness in a Time of Terror*, 1-25.

Silva, J., y Lozano, E. (2022). Análisis de las tasas de homicidios, un estudio para países latinoamericanos y europeos. *Revista Esonómica*, 77-86.

United Nations. (2021). *World Drug Report 2021*. Austria: United Nations publication.

United Nations Office on Drugs and Crime. (2019). *Global Study on Homicide 2019*. Vienna: UNODC. Retrieved 3 de Septiembre de 2021, from https://www.unodc.org/documents/gsh/pdfs/2014_GLOBAL_HOMICIDE_BOOK_web.pdf

Vivas, A., y Vivas, D. (2024). Violencia en Ecuador: análisis de homicidios mediante series de tiempo. *Revista Ingenio*, 7(1), 4-11. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/4546/7557>

Voss, G. (5 de Julio de 2023). *Insight Crime*. La coca en Perú se expande por otras regiones: <https://insightcrime.org/es/noticias/coca-peru-expande-nuevas-regiones/Williams>, G. (2011). *Data Mining with Rattle and R*. New York: Springer.