

**Análisis del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023,
por medio de una red neuronal**

Angie Carolina Carvajalino Amaya

Sandra Milena Parra Herrera

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica

Facultad de Ciencias Administrativas, Contables y Económicas

Departamento del Cesar

Aguachica

2025

**Análisis del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023,
por medio de una red neuronal.**

Angie Carolina Carvajalino Amaya

Sandra Milena Parra Herrera.

Tutores: Juan Camilo Núñez, Juan Andrés Guerrero

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica

Facultad de Ciencias Administrativas, Contables y Económicas

Departamento del Cesar

Aguachica

2025

Nota De Aceptación



Firma del evaluador temático

Firma del evaluador metodológico

24 de abril de 2025

Dedicatoria

A nuestras madres, por ser luz en los días oscuros y fuerza en los momentos de duda. Gracias por cada abrazo en el cansancio, por cada palabra de aliento en la incertidumbre, por creer en nosotras incluso cuando dudábamos de nosotras mismas. Este sueño cumplido es reflejo del amor, el sacrificio y la fe que sembraron en nuestro camino.

Hoy, más que nunca, les debemos todo lo que somos. Este logro también es suyo, porque en cada paso estuvieron con nosotras, en alma y corazón. También a nosotras mismas, por la fuerza, la constancia y el valor de seguir adelante. Este logro es de ustedes, de nosotras, y de todos los que siempre creyeron en nuestro propósito.

Agradecimientos

A Dios, por ser nuestra guía constante, por fortalecernos en los momentos de dificultad y regalarnos la sabiduría necesaria para culminar este camino. A nuestros esposos, por su amor, comprensión y apoyo incondicional; por ser el refugio en los días de cansancio y la motivación para seguir adelante cuando las fuerzas flaqueaban.

A nuestros tutores, por su guía académica, por sus valiosas orientaciones y por acompañarnos con paciencia y dedicación en este proceso de crecimiento profesional y personal. A la Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, por ofrecernos un espacio de formación que nos permitió desarrollar no solo competencias académicas, sino también sueños y aspiraciones más grandes. A nuestros amigos y compañeros de estudio, por su compañía, sus ánimos y su ejemplo de perseverancia. Este logro es también de ustedes, y los llevamos en nuestro corazón.

Contenido

Introducción	8
Planteamiento del Problema.....	10
Sistematización del Problema de Investigación	14
Objetivos	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos.....	14
Justificación.....	14
Delimitación	16
Marco Referencial.....	17
Antecedentes	17
Antecedentes Internacionales	17
Antecedentes Nacionales	19
Marco Teórico	22
Insolvencia financiera.....	24
Indicadores financieros para estimar insolvencia financiera.....	24
Deep Learning y Redes Neuronales Artificiales (RNA)	26

Arquitectura y tipo Redes Neuronales Artificiales (RNA).....	29
Marco Conceptual.....	32
Metodología.....	35
Enfoque.....	36
Alcance.....	37
Diseño.....	37
Instrumentos y Herramientas.....	38
Consideraciones éticas.....	42
Cronograma.....	43
Comportamiento de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023.....	44
Crisis financiera entre 1998-1999.....	45
Crisis financiera de 2008.....	49
Crisis financiera de 2015-2016.....	51
Crisis financiera 2020 (Covid 19).....	54
Red neuronal del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023.....	57
Composición de la red neuronal de estudio.....	60
Resultado Red Neuronal.....	61
Patrón de la economía nacional en función de la crisis financiera entre 1995-2023.	63

Conclusiones	65
Recomendaciones.....	67
Referencias.....	68
Anexos	79

Lista de Figuras

Figura 1 Modelo de perceptrón multicapa	27
Figura 2 Modelo de redes convencionales (CNN).....	30
Figura 3. Grafica de factores macroeconómicos. (Inflación, desempleo, interés, petróleo).....	44
Figura 4 PIB anual en Colombia entre 1995 a 2020.....	47
Figura 5 Tasa de desempleo anual en Colombia entre 1995 a 2020.....	48
Figura 6 Crecimiento de productividad laboral en países de Latinoamérica entre 1997 a 2017 ..	50
Figura 7 Evolución de variables macroeconómicas en Colombia entre 1995 a 2020	52
Figura 8 Tasa de desempleo anual en Colombia entre 1995 a 2020.....	56
Figura 9 Matriz de correlación.....	58
Figura 10 Curva de Phillips	59
Figura 11 Red Neuronal.....	61
Figura 12 Patrones generales crisis financiera entre 1995-2023	64

Lista de Tablas

Tabla 1 Descripción general comparativa de arquitecturas RNN.....	31
Tabla 2 Resultados del comportamiento de crisis financiera entre 1995 a 2023.....	64

Resumen

La investigación analiza los patrones comportamentales de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023 utilizando una red neuronal artificial. Se estudian cuatro grandes crisis: la crisis hipotecaria de 1998-1999, la crisis financiera global de 2008, la crisis de liquidez de 2015-2016, y la crisis derivada del COVID-19 en 2020. El objetivo es identificar las variables macroeconómicas que anteceden a estos eventos, como el PIB, la tasa de interés, la inflación, el desempleo, el precio del dólar y el petróleo.

A partir de una metodología cuantitativa, se diseñó una red neuronal multicapa que, tras el entrenamiento con datos históricos, detectó patrones no lineales complejos entre los factores económicos y la probabilidad de crisis. La red logró un bajo error de entrenamiento (0.018), indicando alta precisión predictiva, aunque con riesgo de sobreajuste. Se encontró, por ejemplo, una correlación negativa entre crecimiento económico y desempleo, y una alta relación positiva entre inflación y tasas de interés.

Los resultados muestran que Colombia ha seguido un ciclo recurrente de vulnerabilidad externa, ajuste macroeconómico y recuperación parcial tras cada crisis. A pesar de avances regulatorios, persisten riesgos asociados a la desigualdad, la dependencia de commodities y la

volatilidad global. Se recomienda fortalecer los sistemas de alerta temprana usando redes neuronales, actualizar continuamente los modelos con datos recientes y considerar factores de economía conductual para una mejor gestión de riesgos futuros.

Introducción

La presente investigación plantea la consecuente realización del diseño de una red neuronal que permita detectar qué patrones existen para las crisis financieras colombianas. Si bien se llevó a cabo un análisis exhaustivo de otras clases de técnicas de inteligencia artificial, como los árboles de decisión y los bosques aleatorios, se determinó que las redes neuronales garantizan un mayor acierto y particularidad a la hora de modelar las relaciones que pueden presentar las variables económicas. Aunado a esto, el hacer uso de este enfoque permite acceder no solo a la identificación de patrones comportamentales de las crisis financieras pasadas, sino que sirve de soporte para la actualización de eventos futuros y, por tanto, para que el desarrollo de políticas económicas sea más eficiente y anticipado.

La red neuronal artificial que se analiza en la presente investigación tiene por finalidad proporcionar una explicación más clara y precisa de los patrones de respuesta mostrados ante las crisis financieras que se plantean. Estas redes son herramientas computacionales que están fundamentadas en la estructura y el funcionamiento de las neuronas del cerebro humano y que están diseñadas para aprender patrones complejos a partir de los datos. Al respecto, Goodfellow, Bengio y Courville (2016) señalan que "las redes neuronales son modelos que pueden aprender representaciones de datos mediante múltiples capas de procesamiento" (p. 2).

Planteamiento del Problema

A lo largo de las últimas tres décadas, Colombia ha experimentado múltiples crisis financieras que proceden de la dinámica financiera global, generalmente por razones de geopolítica y la estructura de los sistemas financieros en países del primer mundo. Al respecto, publicaciones como la Caballero (2019), analizan las crisis entre los años ochenta y finales del siglo XX, destacándose las razones macroeconómicas, los desequilibrios fiscales y cambiarios, además de las falencias propias del sistema financiero colombiano.

En primer lugar, hacia el año 1998 Colombia y las economías latinoamericanas se impactan por el deterioro del mercado cambiario, como parte de la crisis internacional desatada en Asia en 1997. Lo anterior, se debió a la deuda moratoria externa de Rusia, asociada a una variedad de condiciones económicas que tienen que ver con grandes déficits presupuestarios y reservas insuficientes de divisas. A causa de esto, se da lugar a una crisis monetaria y la falta de confianza de los sectores financieros (Gunay & Can, 2022).

Para Colombia según Caballero (2019), esto significó dificultades en la adquisición de recursos del exterior, además de una drástica disminución de los precios de productos básicos como café y petróleo fundamentalmente, los cuales bajaron a niveles históricos. El resultado sería entonces, el incremento de la deuda externa y la fuga de inversionistas extranjeros, bajo el escenario inestable de una economía emergente propensa a sufrir crisis cambiarias o financieras.

Posteriormente, las crisis económicas entre 2008 a 2009 tienen su origen en medidas audaces por parte de autoridades económicas de estados Unidos, Reino Unido y Europa, con la

intención de rescatar a los bancos aparentemente más sólidos en el panorama mundial. Sin embargo, dichas medidas provocaron una reducción del ritmo de crecimiento global (Caballero, 2019). En ese contexto estudios internacionales como el de Akgün y Memiş (2020), se afirma que el desarrollo de las crisis de 2008 significó una relación no lineal entre el nivel de capital de trabajo y el desempeño empresarial.

En otras palabras, se trató de una estrategia agresiva en donde la gestión de capital trabajo aumentó el flujo de efectivo, lo que a su vez provocó sobreendeudamiento en países de la zona del euro, sumado a un declive del ciclo económico y de la producción industrial. Tal fue la crisis del 2008 que, en Europa y EEUU los indicadores de producción cayeron hasta en un 20%, con registro de pérdidas contables declaradas y la declaración de quiebra de algunas empresas (Akgün & Memiş, 2020).

Así mismo, el impacto de la crisis de 2008 se incrementa para Colombia, por la falta de competencia y protección de inversión extranjera tras la elevada partición de capital, específicamente en las inversiones forzosas y encajes, según lo descrito por el Departamento Nacional de Planeación (2000). De hecho, la tasa de encaje era alta en Colombia comparada con los otros países de la región, porque superaba hasta en 5 puntos a los bancos en países desarrollados, y en 2 puntos con los bancos latinoamericanos

Luego, en el 2014 ocurre la crisis de liquidez, la cual se caracterizó por recursos fiscales insuficientes para cubrir los pagos de los mercados, debido a un nivel de desconfianza por parte de inversores, cuyo impacto es la reducción del acceso habitual al crédito por parte de los gobiernos (Conesa & Kehoe, 2022). De hecho, el Fondo Monetario Internacional (2014) e informes de la Pricewater house Coopers (2015) lo catalogaron como la mayor crisis financiera

de los últimos 100 años, porque el comportamiento de los bonos fue decreciendo proporcionalmente con los factores de riesgo de crédito como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Esto provocó para en la eurozona (por ejemplo), un aumento de los costos de transacción y otras fricciones en el comercio como resultado de la iliquidez, por tanto, también se aumentó el costo de financiación para las empresas.

Así mismo, en 2014 inició una caída del precio internacional del barril de petróleo provocando desequilibrios macroeconómicos en países dependientes de economías petroleras, incluyendo a Colombia como directo afectado, con una desestabilización de la balanza de pagos e influyendo en los niveles de consumo. Desde entonces, los indicadores del petróleo y el contexto macroeconómico en el país se han mantenido inestables durante los últimos 30 años (Melo et al., 2020). Sumado a lo anterior, investigadores como Adrián (2022) señalan que la volatilidad del sistema financiero colombiano ha mostrado un comportamiento errático, exacerbado por factores globales y locales, que influyen en la confianza del mercado y en la toma de decisiones económicas

Como agravante, las crisis financieras colombianas han sido un problema al que se han enfrentado diversos actores, desde el gobierno central hasta las instituciones financieras. Lo anterior, se relaciona directamente a las caídas bruscas en los mercados financieros (crisis del 2008), devaluaciones del peso colombiano (crisis del 98, crisis del petróleo 2014) o ciclos de inflación (década de los 70, segunda mitad de los 80 y principios de los 90). Sí bien, Colombia ha avanzado en la gestión de riesgos financieros, todavía son insuficientes los mecanismos de prevención y mitigación de futuras crisis (Caballero, 2019).

Sumado a esto, la revisión de la literatura evidencia que los estudios que involucran técnicas innovadoras para la comprensión, predicción y modelamiento de patrones de revelación de alertas tempranas a posibles crisis futuras son insuficientes en el panorama nacional, por la compleja caracterización de las políticas y el sistema financiero del país. Las evidencias al respecto, se relacionan a lo que se denominado efecto de shock según (Lozano y Garzón (2019)), como con una reacción singular de los agentes e instituciones público-financieras, que muestra grados de irracionalidad ante la perturbación previsible del mercado, cuya consecuencia ha significado la fuga de inversionistas por la falta de predicción del mercado financiero local (Herrera, 2020).

Incluso, Herrera (2020) afirma que en Colombia todavía se siguen tomando decisiones sin ninguna información que involucre técnicas avanzadas de modelamiento en redes neuronales artificiales para una predicción acertada. Por el contrario, se tienen en cuenta en muchos casos, solo las noticias del entorno que rodean a inversionistas de las instituciones financieras públicas y privadas, sin saber a ciencia cierta sí un activo está suficientemente respaldado para tomar acción. Finalmente, es muy débil la estructura de algoritmos automatizados que apoye la toma de decisiones, porque los métodos de aplicaciones actuales de aprendizaje profundo, requieren enfoques más allá de los índices macro y microeconómicos, y dar paso a la comprensión de la economía conductual o del comportamiento a partir de sistemas robustos como redes neuronales artificiales.

Sistematización del Problema de Investigación

¿Cómo pueden las redes neuronales ser utilizadas para identificar y analizar los patrones de comportamiento de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023, y qué factores económicos subyacentes influyen en estos patrones?

Objetivos

Objetivo general

Analizar el patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023, por medio de una red neuronal, identificando el patrón de la economía nacional en función de las crisis.

Objetivos específicos

1. Describir el comportamiento de las crisis financieras que se desarrollan en Colombia entre 1995 y 2023.
2. Determinar el patrón comportamental de las crisis financieras desarrolladas entre 1995 y 2023 por medio de una red neuronal.
3. Identificar el patrón de la economía nacional en función de la crisis financiera entre 1995-2023.

Justificación

Las crisis financieras son fenómenos complejos y multifacéticos que generan un grave impacto en las economías de los estados, especialmente en países en desarrollo como es el caso de Colombia. Bajo ese contexto, predecir dichas crisis es un elemento fundamental para poder

realizar ajustes a políticas económicas gubernamentales y organizacionales, a razón amortiguar el impacto y los factores de incertidumbre que generalmente reducen la inversión (Oquendo, 2012). Desde esa perspectiva, el análisis de crisis financieras es una constante para los economistas, aun cuando la predicción de dichas crisis no se puede establecer directamente, porque están sujetas a condiciones aleatorias tales como fluctuaciones sin patrones precisos de comportamiento, decisiones políticas, shocks de demanda y oferta, etc (Drautzburg, 2019).

En el contexto latinoamericano, la interrelación entre economías y la naturaleza volátil de los mercados financieros hacen que la previsibilidad de estos acontecimientos sea aún más importante. En este sentido, el uso de las redes neuronales artificiales ofrece un tratamiento novedoso para modelar la complejidad de estos sistemas. Aplicando esas técnicas a datos económicos es posible descubrir patrones ocultos y señales de aviso de inestabilidad financiera, lo que ayuda a construir sistemas económicos más resilientes. (Oquendo, 2012).

De esta manera, las redes neuronales artificiales han logrado posicionarse como las potentes herramientas para el análisis predictivo como consecuencia de su capacidad para aprender patrones no lineales a partir de grandes volúmenes de datos. Estos modelos son especialmente eficaces para identificar relaciones complejas entre variables, lo cual les convierte en herramientas ideales para la predicción de eventos financieros (Espino, 2017). Por lo tanto, esta investigación se valdrá de datos de economía colombiana y simulaciones de redes neuronales artificiales para llevar a cabo un análisis sistemático que permita conocer patrones de comportamiento para etapas de alta volatilidad a partir de los datos comenzando a capturar relaciones no lineales que los métodos más tradicionales tienden a ignorar. (Dávila et al., 2023).

Por lo tanto, el desarrollo de estos trabajos de investigación contribuye desde la academia, a la disposición de información de alta calidad a partir de la cual se da una visión general ante futuras crisis económicas, teniendo en cuenta que la economía colombiana, al igual que la de otros países latinoamericanos, ha estado sujeta a recurrentes episodios de inestabilidad financiera. Como apoyo a la anterior afirmación, publicaciones como la de Rodríguez y Ulloa (2020) explican que la implementación de modelos predictivos en Colombia es esencial por su contexto económico único, dada la elevada tendencia de volatilidad del mercado, y formulación de políticas económicas locales.

Finalmente, el enfoque metodológico adoptado en esta investigación, es la generación de un modelo predictivo con criterios de alerta basado en el comportamiento del patrón dinámico observado en el entorno económico, cuyas señales corresponden a alertas tempranas sobre crisis financieras. Esto, con el fin de aportar elementos de análisis en la toma de decisiones para reducir la probabilidad y el impacto de las crisis identificadas. Al respecto, Pismag et al., (2022) desarrolló de un modelo predictivo con criterios de alerta para futuras crisis financieras, aspecto que tiene un gran potencial para su aplicación práctica por los organismos reguladores para implementar medidas preventivas y políticas económicas más efectivas.

Delimitación

Entre las delimitaciones del estudio se tiene un periodo de recolección de la información entre los años 1995-2023, fundamentalmente de datos financieros y económicos de Colombia suministrados por el Banco de la República y los organismos público-privados relevantes para tal fin. En ese orden de ideas, se busca la representación de la interconexión mediante redes

neuronales artificiales, de los patrones de volatilidad en los escenarios de crisis cuatro económicas relevantes en los últimos 40 años: crisis hipotecaria en 1998, crisis de 2008 relacionada al colapso Lehman Brother, crisis de liquidez en 2014 provocada por la caída del petróleo, y la crisis actual por pandemia en 2019.

Marco Referencial

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

En cuanto a estudios internacionales, se revisó la investigación de Ozbayoglu et al., (2020). Cuyo objetivo fue presentar diferentes implementaciones sobre el aprendizaje profundo para aplicaciones financieras, pero el estudio solo se centró exclusivamente en Deep Learning (DL) para aplicaciones financieras. Con respecto a la metodología usada, se llevó a cabo una encuesta a partir de la selección de artículos y publicaciones en fuentes de datos tales como ScienceDirect, ACM Digital Library, Google Scholar, arXiv.org, ResearchGate, búsqueda de palabras clave en Google para DL y finanzas.

Los resultados, validaron que los estudios sobre gestión de carteras y evaluación de riesgos siguen siendo las de mayor interés en la investigación financiera en el futuro previsible, seguido de las criptomonedas y la tecnología blockchain. En conclusión, se observó que la industria financiera y la academia están en un periodo de crecimiento sobre la investigación del BL en diferentes áreas de aplicación, de manera que el número de publicaciones aumenta aceleradamente.

Por otro lado, el estudio de Qiu et al. (2022) se basó en el desarrollo de un método de análisis de redes supervisadas multilayer para entrenar redes financieras dinámicas y predecir crisis financieras. Como método de estudio, se planteó por enfoque cuantitativo a partir de la construcción de redes financieras multiplayer para el entrenamiento de la información. De ahí que, la población correspondió al conjunto de datos de índices bursátiles procedentes de América, Europa y Asia.

Se llevó a cabo la validación cruzada de la información a través de algoritmos de aprendizaje supervisado, además de modelar interconexiones entre diferentes mercados financieros. En cuanto a los resultados presentados, se evidenció una alta precisión de las crisis financieras, porque el modelo de redes usado permite distinguir eficazmente entre estados financieros en épocas normales y de crisis a razón de observar el comportamiento en horizontes cortos y largos.

También se identificó que este modelo supera otros de análisis estructural de redes, porque se integra la dinámica temporal y estructural de los mercados, por tanto, muestra alertas tempranas. En cuanto a las conclusiones, se determinó que la modelación multiplayer facilita la comprensión de las dinámicas complejas de los mercados globales, lo cual se reconoce como una ventaja para la gestión de riesgos financieros.

En un estudio paralelo desarrollado en la ciudad de Lima, Hermitaño (2022) propuso el análisis de las ventajas y desventajas de implementar algoritmos de *machine learning* en la gestión del riesgo de crédito financiero. La metodología fue de tipo cuantitativo usando *machine learning (ML)*, a través de diversos algoritmos que evalúan el rendimiento y aplicabilidad de los créditos.

Fue así como el estudio da cuenta de la utilidad de los algoritmos ML en la gestión bancaria, porque mejoran las predicciones de riesgo, además que facilita reducir los desafíos de la interpretabilidad. Esto quiere decir que la combinación de modelos híbridos entre algoritmos con modelos tradicionales y métodos como SHAP (*SHapley Additive exPlanations*) se facilita la comprensión de los modelos. Entre las conclusiones, *machine learning* demostró una mejora en la gestión del riesgo de crédito, porque presenta ventajas significativas en términos de precisión .

En último lugar, la publicación de Balmaseda et al. (2023) se estableció en evaluar el uso de técnicas de aprendizaje profundo, para predecir patrones anormales derivados de crisis financieras previas. La metodología consistió en redes neuronales de tipo LSTM y autoencoders, validación cruzada y series de tiempo a partir de datos históricos de mercados financieros globales.

Los resultados dieron cuenta que los modelos basados en redes neuronales profundas, especialmente las que combinan LSTM superan los modelos tradicionales, porque pueden identificar patrones complejos de datos multivariados de tipo series temporales, logrando una alta precisión y bajas tasas de falsos positivos. En ese contexto, se concluyó que las redes neuronales son una herramienta eficaz para alertar tempranamente una crisis, sobre todo porque se logra la identificación de patrones no lineales significativos en comparación con los métodos clásicos.

Antecedentes Nacionales

Sobre investigaciones nacionales, se identifica en primera instancia la publicación de Herrera (2020). Llevada a cabo en la ciudad de Bogotá, la cual se basó en demostrar la capacidad de las redes neuronales en la predicción del precio de las acciones LSTM. Para tal fin, se analiza

la capacidad predictiva teniendo en cuenta la memoria larga a corto plazo (LSTM) a partir de aprendizaje automático usando la cantidad de información recopilada de internet y portales financieros de datos históricos.

El método fue de tipo exploratorio desde la recopilación de información histórica sobre las acciones de diez empresas de tecnologías, los cuales fueron examinados según las características que tienen en cuenta los inversionistas, así como el volumen de negociación y la liquides de las acciones. Algunas de las empresas seleccionadas fueron Amazon, Apple, Alphabet, Microsoft, Twitter, Facebook, Synopsys, Tesla, Pyapal y Nvidia.

Los resultados dieron cuenta que el modelo desarrollado predice un precio de alza del día siguiente, factor muestra teóricamente la correlación entre la curva real y la curva cercana. Así mismo, se llevó a cabo el aumento del número de neuronas de la red, para profundizar la capacidad del aprendizaje, sobre todo en escenarios con caídas brusca del precio de las acciones, o en escenarios de alza. Finalmente, las conclusiones afirmaron que el uso de red neuronales LSTM reveló el precio de apertura de acciones, así como resultados experimentales, aspecto que facilita el proceso de inversión, desde el punto de vista que se genera un aporte significativo al algoritmo. Finalmente, este modelo ayudó mucho durante la crisis sociosanitaria por COVID-19 porque sirvió de herramienta a para la toma decisiones de inversiones en línea.

Por otro lado, se revisó la publicación de Dueñas et al. (2021) relacionada con la evaluación del impacto heterogéneo de los shocks que afectaron la economía de empresas colombianas durante el periodo por Covid-19, a través de Machine Learning (aprendizaje automático). Para tal fin, se usó una metodología cuantitativa con alcance exploratorio, desde la cual se empleó un modelo *super learner*, que a su vez, sirvió para ensamblar diversos modelos

probabilísticos. En esa medida, la población de estudio correspondió a empresas colombianas que registraron exportaciones entre el periodo 2015 a 2020.

La retroalimentación de información se obtuvo desde bases de datos aduaneras, datos de instituciones de industria y comercio exterior, así como revisión bibliográfica correspondiente al volumen de las empresas exportadoras colombianas. Por su parte, la técnica *Machine Learning* (super learner) combinó modelos como: random forest, boosting, redes neuronales, regresiones logísticas, etc.) soportado por análisis contrafactual con simulación de comportamiento de las firmas sin el shock pandémico. Posteriormente, se llevaron a cabo los efectos del tratamiento heterogéneo, teniendo en cuenta aspectos como: tamaño, diversificación de mercados antigüedad.

En cuanto a los resultados obtenidos, se encontró que las empresas colombianas exportadoras tienen una probabilidad de supervivencia del 20%, siendo un impacto severo a causa del COVID-19, sobre todo a micro, pequeñas y medianas empresas, a causa cambio, de la poca diversificación de productos y destinos. Finalmente, el estudio concluyó que se hace necesario políticas de estado que consideren estrategias de choque económico según las características estructurales. Con respecto al uso de la aplicación de *Machine Learning* como herramienta de análisis y predicción, se determinó facilita la identificación de las heterogeneidades de forma más precisa que los modelos tradicionales, por lo tanto, la metodología puede ser útil para los gobiernos con miras ante crisis económicas futuras Carmona (2022).

En última instancia, se analizó la tesis de maestría publicada por Carmona (2022) cuyo objetivo fue desarrollar modelos de redes neuronales artificiales (ANN) regularizadas mediante

técnicas estadísticas (LASSO, Ridge y Elastic Net) para predecir la inflación en Colombia, comparando su desempeño con modelos ARIMA. En cuanto a la metodología implementada, se basó en un enfoque cuantitativo y aplicado, basado en modelos de redes neuronales feedforward (perceptrón multicapa) y métodos de regularización para prevenir el sobreajuste (overfitting), simulados en el software estadístico R. La población correspondió a un conjunto de series temporales macroeconómicas colombianas, especialmente variables relacionadas con la inflación, desde enero de 2002 hasta septiembre de 2021, obtenidas de fuentes del DANE, Banco de la República y otras fuentes oficiales.

Los resultados obtenidos dieron cuenta que las redes neuronales regularizadas superaron en precisión a los modelos ARIMA tradicionales, particularmente al reducir el error cuadrático medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). De hecho, la red neuronal con regularización Elastic Net fue la que mostró el mejor rendimiento general. De igual manera, se comprobó que la predicción del modelo se optimiza en horizontes de corto y mediano plazo. Finalmente, el estudio concluyó que la incorporación de métodos de regularización mejora la estabilidad y precisión del modelo, evitando el sobreajuste.

Marco Teórico

En los últimos años, el estudio de los ciclos económicos se ha incorporado a diversos enfoques que explican las causas y las características, los cuales dan paso a modelos neoclásicos para recontextualizar las perspectivas heterodoxas de la teoría de Goodwin (1967), a partir de nuevas adaptaciones que analizan la interacción entre variables endógenas como salarios y las tasas de empleo, usando herramientas dinámicas no lineales.

No obstante, la Teoría Austriaca del Ciclo Económico que en principio se basaba en la identificación de las diferencias fundamentales entre escenarios de crecimiento sostenible a partir de la acumulación de un ahorro consolidado, resurge con aplicaciones empíricas que examinan el impacto de la expansión crediticia en la estructura productiva (Alonso et al., 2013). De hecho, en estudios recientes, como el de Alonso et al., (2022) y Rivero (2022), se han utilizado modelos econométricos para validar proposiciones de esta teoría para analizar la relación entre tipos de interés artificialmente bajos y distorsiones en la inversión

Así mismo, Van Riet (2019) afirma que en la literatura se identifican otras contribuciones de teorías económicas complementarias a la Escuela Austriaca, como es el caso de la escuela Keynesiana. La óptica keynesiana, se basaba en la necesidad de mantener tasas de interés bajas para sostener la demanda agregada, en comparación con la perspectiva austriaca, estas políticas fomentaron excesos financieros y retrasaron la reasignación de recursos, exacerbando las ineficiencias estructurales del sistema.

Conforme a las indicaciones de Trotta (2023) el autor defiende el análisis de los desequilibrios macroeconómicos complejos que, a la vez, han llevado a interpretaciones complementarias que sugieren políticas fiscales contra cíclicas para estabilizar la economía. Se han dado lugar explicaciones que han requerido la integración de las visiones teóricas o empíricas que se centran en la modelación económica. Entre estas visiones actuales se encuentran los análisis de los Ciclos Económicos o Real Business Cycle (RBC), que tienen un origen en entender los efectos de choques exógenos en las fluctuaciones económicas, tecnológicos o monetarios, etc. Para ello, se han incorporado elementos distributivos de alta complejidad económica como respuesta a los choques tecnológicos y de productividad, los

cuales están directamente relacionados con las fluctuaciones del capitalismo contemporáneo (Valdivia, 2016).

Los modelos de tipo RBC han sido incluso adaptados a economías emergentes, aportando elementos como fricciones financieras y restricciones colaterales para dar cuentas de las oscilaciones cíclicas. Por ejemplo, el estudio realizado por Krznar y Matheson (2017) sobre economías emergente como Brasil daba cuenta de los efectos de los choques que se dan en la productividad total de los factores y en las primas de riesgo, los cuales pueden desencadenar ciclos económicos importantes; el estudio señalaba además la necesidad de incluir factores no tecnológicos en el contexto de los mercados menos desarrollados. Estas adaptaciones de los modelos RBC dan cuenta de su utilidad para obtener un mayor nivel de complejidad en las economías globales modernas llevadas más allá de su acepción tradicional en economías avanzadas.

Insolvencia financiera

Indicadores financieros para estimar insolvencia financiera

Las corrientes adyacentes a la insolvencia financiera abarcan diferentes teorías que se centran en estudiar las causas, en los mecanismos de la misma, en las posibles soluciones, etc. En este contexto, se revisan las cuatro teorías más recientes que recogen características que resultan relevantes.

Como primer aspecto, se toma el concepto de la teoría de la asimetría de la información y de señales, como la identificación temprana de insolvencia financiera. Según Garrido et al.

(2021), la teoría de la asimetría de la información y de señales opera la virtud de los recursos diagnósticos y los sistemas de detección de alertas tempranas mediante alertas tempranas como los diseñados desde la Directiva de la Unión Europea sobre reestructuración preventiva. Esto es, la aceptación de las señales de insolvencia mediante parámetros financieros relativos a los ratios de liquidez, de endeudamiento y de cobertura de intereses, así como el recurso por parte del diagnóstico a las mediaciones o reestructuraciones respecto a un no ir a procesos judiciales estrictos.

Las políticas modernas abordadas por la insolvencia en la literatura dan cuenta de los modelos de reestructuración preventiva, componente de primer orden de las políticas modernas de insolvencia, principalmente en Europa, tal cual deduce la investigación que Vermeille (2019) ha realizado en este sentido, la cual enfatiza que estas estrategias permiten a las entidades en crisis lograr negociaciones de reestructuración sin necesidad de esperar a que se produzca la declaración de formal insolvencia de ellas, y ello expone la necesidad de contar con unos procedimientos, que incluyan los mecanismos híbridos judiciales y de negociaciones entre partes, que preserven el valor y la continuidad de su actividad.

El Banco Mundial y el FMI también ha hecho énfasis en que es necesario que existan marcos institucionales al menos razonablemente robustos que habiliten la existencia de sistemas de insolvencia eficientes y transparentes. En su informe de 2021, el Banco Mundial revisó los principios elaborados para los regímenes de insolvencia subrayando la necesidad de soluciones contextualizadas e integradas que consigan un equilibrio entre los derechos de los acreedores y de los deudores, teniendo en esencia estos principios la función de ser herramientas de

evaluación para acercar los sistemas fundamentales de negocios e impulsar el crecimiento económico.

Finalmente, las teorías económicas alternativas sobre los ciclos de insolvencia se apoyan en estrategias modernas que entienden la insolvencia como un proceso cíclico y potencialmente intensificable durante las crisis económicas. Para el Fondo Monetario Internacional (2021), la insolvencia puede ser atenuada a través de políticas macroeconómicas capaces de restaurar la estabilidad financiera, como líneas de crédito contingentes y soporte fiscal a sectores vulnerables durante las recesiones, ya que estas estrategias buscan minimizar las cadenas de la insolvencia y los colapsos económicos en contextos de crisis mundial.

Deep Learning y Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Para entender el enfoque de Deep Learning (DL) y Redes Neuronales Artificiales (RNA) hay que tener claro el concepto de Machine Learning (ML) o Aprendizaje Automático, que es el que hace referencia a toda la computación que se apoya en inteligencia artificial, cuyo propósito es hacer sistemas que se alimentan de información automáticamente al reconocer patrones y comportamientos de conjuntos de datos, (Sarmiento, 2020). No obstante, dentro de las herramientas importantes para el funcionamiento de ML se requieren otros sistemas de soporte denominados Artificial Neural Networks (ANNs) o Redes Neuronales Artificiales (RNA).

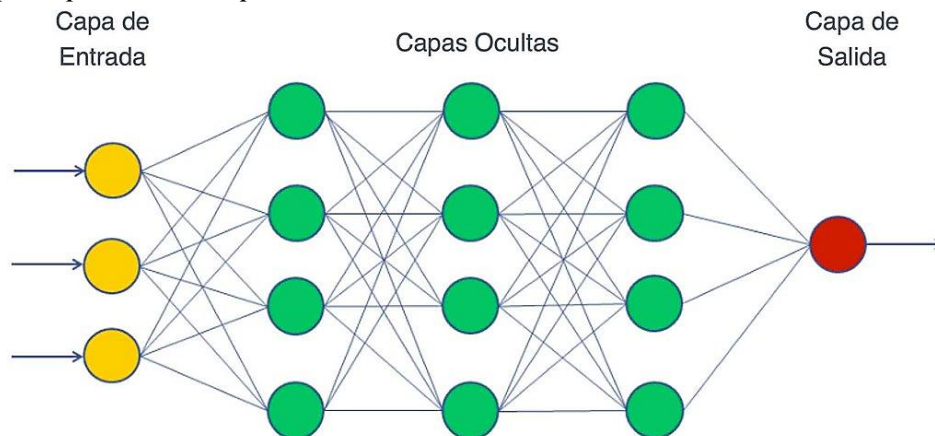
Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son modelos algorítmicos computacionales inspirados en las redes neuronales del cerebro humano, a través de las cuales se busca emular el proceso de aprendizaje a partir de datos. Desde esa perspectiva, las RNA se construyen con

arquitecturas multicapas que consiste en una serie de capas interconectadas de neuronas, donde cada capa oculta procesa información y la transmite a las capas posteriores, las cuales permiten el reconocimiento de patrones para la predicción de comportamiento y la toma de decisiones (Parada & Ríos, 2018).

Dentro de las diversas arquitecturas existentes en las RNA (redes neuronales artificiales), destaca el perceptrón multicapa (MPM), donde en cada capa oculta se procesa información y se traslada a las siguientes capas. Las conexiones entre neuronas están ponderadas de acuerdo con pesos y sesgos, los cuales se llevarán a cabo durante el ajuste mediante un proceso denominado de retro propagación. Este algoritmo está tenido en cuenta para poder realizar los cálculos del gradiente descendente que permitan así minimizar el error entre las predicciones que realiza y los valores reales. (Yan et al., 2023). Esta arquitectura permite que las ARN aprendan patrones complejos, lo que mejora la precisión de las predicciones en series temporales financieras o macroeconómicas (Parada & Ríos, 2018).

Figura 1

Modelo de perceptrón multicapa



Nota: Capa de entrada: Recibe las variables independientes (características) del conjunto de datos. *Capas ocultas:* Constituidas por múltiples neuronas interconectadas, cada una realiza operaciones de suma ponderada seguidas de una función de activación no lineal (como ReLU o sigmoide) para capturar relaciones complejas en los datos. *Capa de salida:* Proporciona el resultado final, cuyo diseño depende de la tarea: una salida continua para regresión o probabilidades para clasificación. Adaptado de (Yan et al., 2023).

Las redes neuronales artificiales (RNA) tienen una gran variedad de aplicaciones en diferentes áreas a partir de estos últimos años, pero entre todas ellas crecen de forma considerable en tonalidades las que hacen referencia a la clasificación de patrones y el reconocimiento de imágenes. Las redes neuronales artificiales (RNA) pueden identificar características complejas en los datos y son perfectas para tareas de reconocimiento facial, detección de objetos o para clasificaciones de imágenes médicas. Últimamente se han dado a conocer arquitecturas avanzadas, por ejemplo, las redes neuronales convolucionales (CNN), que muestran un rendimiento mucho mejor en esta tarea, y eso se explica por su buena capacidad para capturar interrelaciones espaciales en los datos.

En el campo de la economía y las finanzas, las RNA han sido principalmente utilizadas para prever variables económicas y para auxiliar la toma de decisiones en los mercados financieros. A nivel técnico, las RNA son capaces de generalizar patrones no lineales, lo cual les permite adaptarse a diferentes clases de datos sin necesidad de especificar una forma funcional exacta, a diferencia de los modelos estadísticos típicos. (Lecun et al., 2015).

Adicionalmente, las RNA se han utilizado para la predicción de, por ejemplo, el PIB como potencial indicador económico, así como las tasas de inflación, los precios de activos financieros, etc. Gracias a su habilidad para captar relaciones no lineales entre las variables, es muy posible que éstos proporcionen estimaciones más robustas que los modelos econométricos tradicionales, que generalmente hacen hincapié en los supuestos lineales sobre los datos. (Briones, 2023).

La sinergia entre RNA y otras metodologías de optimización así como técnicas de aprendizaje automático está facilitando avances notables en lo que respecta a la predicción de mercados financieros y la gestión de riesgos, pudiéndose ya observar la evolución de modelos híbridos que combinan el RNA con técnicas de series temporales o redes de Boltzmann, para mejorar la precisión de las predicciones en plazos cortos y largos, incrementando las posibilidades de aplicación en el análisis económico y la finanza, (Molina, 2023).

Arquitectura y tipo Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Las arquitecturas de los modelos de redes neuronales recurrentes (RNN) pueden variar mucho según la recurrencia interna existente entre las neuronas y la cantidad de capas presentes en la misma. Según Mienye et al. (2024), estas variaciones pueden ser determinantes en la capacidad que tiene la red para realizar tareas concretas relacionadas con secuencias. Ahora bien, la jerarquía y los parámetros de ejecución son determinantes en la arquitectura, pues caracterizan la cantidad de capas ocultas presentes en la red.

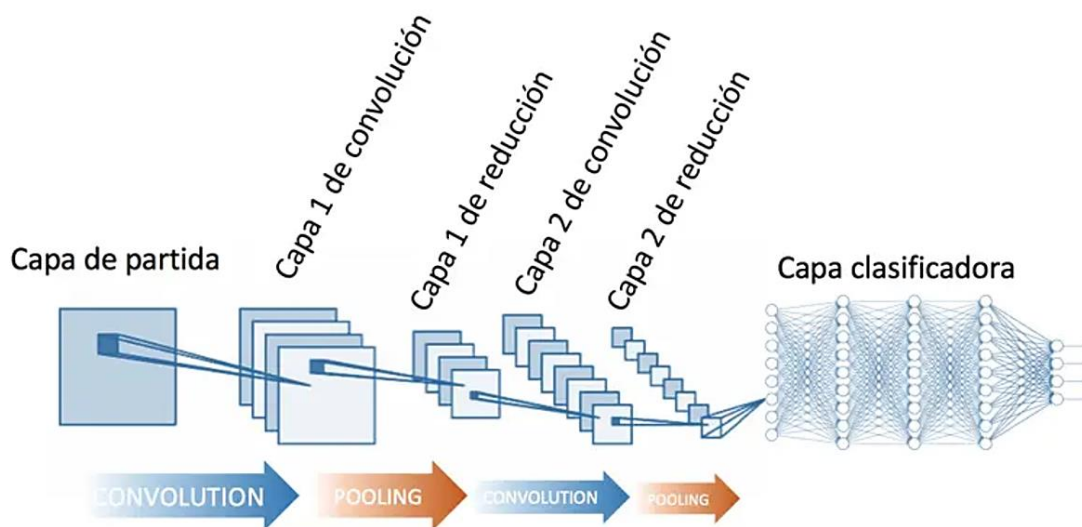
Asimismo, el número de neuronas y la función de activación son factores determinantes para el éxito del modelo. Al respecto, en estudios como el de Maarouf (2015), se ha mostrado que una sola capa oculta es suficiente para aproximar funciones no lineales comunes, siempre que se minimice el riesgo de sobreajuste mediante la selección adecuada de hiperparámetros. Esta flexibilidad ha hecho que, las RNA sean ampliamente utilizadas para modelar relaciones complejas en análisis de mercados financieros y escenarios de políticas económica.

Otro tipo de RNA son las redes neuronales convolucionales (CNN), ampliamente utilizadas en la visión por computadora y con amplia aplicación en reconocimiento facial, análisis médico y sistemas de conducción autónoma. Estas redes emplean capas convolucionales

para detectar patrones espaciales como bordes o textura en imágenes siguiendo el esquema que se muestra en la Figura 2. Su arquitectura está compuesta por capas convolucionales, de pooling y completamente conectadas. La principal característica es la capacidad de aprender representaciones jerárquicas de los datos.

Figura 2

Modelo de redes convolucionales (CNN)



Nota: las CNN son redes multicapas compuestas de capas convolucionales, además de reducción alternada y capas de conexión, las cuales actúan como una red de perceptrón multicapa. Tomado de Red Neuronal Convolucional CNN (2017).

Por otro lado, se tienen las redes neuronales recurrentes (RNN) las cuales son ideales para datos secuenciales como texto o señales de audio, porque se incorporan conexiones cíclicas que permiten el procesamiento y almacenamiento de secuencias completas de datos. Estas redes son ampliamente utilizadas en procesamiento de lenguaje natural, traducción automática y predicción de series temporales (Domor Mienye et al., 2024). En la tabla 1, se muestra un listado de RNA recurrentes, las cuales abordan problemas de gradiente lo que facilita

el entrenamiento. Al respecto, los modelos avanzados como LSTM (red de memoria a corto plazo) y GRU (unidades recurrentes bloqueadas, muy similar a la LSTM) son tipos de RNN a través de las cuales se solucionan el problema del gradiente desaparecido, permitiendo la modelación de dependencias a largo plazo.

Tabla 1

Descripción general comparativa de arquitecturas RNN

Tipo RNA	Características	Estabilidad del Gradiente	Aplicaciones
RNN básica	Estructura simple con memoria a corto plazo	Alto riesgo de desvanecimiento del gradiente	Tareas simples de secuencias como la generación de texto
LSTM	Memoria a largo plazo con puertas de entrada, olvido y salida	Estable, maneja bien gradientes desvanecientes	Traducción de idiomas, reconocimiento de voz
GRU	LSTM simplificada con menos puertas	Estable, maneja eficazmente gradientes desvanecientes	Tareas que requieren entrenamientos más rápidos que LSTM
RNN bidireccional	Procesa datos en ambas direcciones para un mejor contexto	Estabilidad media, depende de la profundidad	Reconocimiento de voz y análisis de sentimientos
Deep RNN	Capas RNN apiladas para aprender características jerárquicas	Variable, riesgo de desvanecimiento aumenta con la profundidad	Modelado complejo de secuencias, como el procesamiento de video
ESN (Echo State Network)	Pesos de capa oculta fijos, entrenados solo en la salida	No aplicable, evita problemas típicos del gradiente	Predicción de series temporales y control de sistemas
Peephole LSTM	Conexiones adicionales (peephole) en las puertas LSTM	Estable y similar a LSTM	Reconocimiento de patrones temporales complejos, como notación musical
IndRNN	Entrenamiento de redes más profundas manteniendo independencia entre pasos de tiempo	Reduce el riesgo de gradientes desvanecientes o explosivos	Secuencias muy largas, como en procesamiento de video o generación de texto extendida

Nota: adaptado de Mienye et al., (2024).

Las redes neuronales de grafos (GNN) destacan también en la tarea del análisis de datos que toman en forma de grafos, tales como las redes sociales, los sistemas de recomendación y las moléculas químicas. Las GNN representan tanto las entidades como los bordes, y aprenden relaciones complejas y sus aplicaciones incluyen desde el sistema PinSage de Pinterest hasta la optimización del tráfico para Google Maps. Por tanto, su arquitectura está basada en GraphSAGE de la cual se deriva buenas representaciones en términos de escalabilidad y precisión, (Ortiz, 2024).

Las redes generativas como son las redes generativas antagónicas (GAN) y los autoencoders variacionales (VAE), son muy importantes para la creación de datos sintéticos. Las GAN se caracterizan por la competencia entre un generador y un discriminador, en cambio los VAE permiten modelar distribuciones probabilísticas de datos, son aplicables a la síntesis de imágenes, a la generación de música y a la simulación en videojuegos, (Sharma et al., 2024).

Marco Conceptual

Siguiendo el criterio de Quiroga (2017), la idea de la variabilidad tiene que ver con la capacidad de un fenómeno para cambiar en el transcurso del tiempo. En el contexto de las crisis financieras, la variabilidad se puede expresar como variación de indicadores económicos, cambios de las conductas del mercado, así como las respuestas de los agentes económicos que afrontan los cambios adversos que pueden presentarse.

Entender esa variabilidad constituye una clave de acceso a la capacidad de analizar cómo y por qué se producen las crisis; por otro lado, la volatilidad se entendía como la medida de la variabilidad o dispersión de los rendimientos de un activo financiero o portfolio. De acuerdo con

el Comité de Basilea (2000), "la alta volatilidad de una variedad de variables exógenas y endógenas afecta en gran medida a las entidades financieras, generando un marco de propenso a las crisis". Tal inestabilidad puede generarse, además, por motivos internos, por cambios en las políticas económicas, y por motivos externos, por alteraciones en los mercados internacionales.

De acuerdo con Lesmez, (2020), un patrón de comportamiento consiste en las tendencias y decisiones que los agentes económicos suelen presentar en contextos de inestabilidad. Los patrones de comportamiento son el resultado de regularidades que se pueden observar en la conducta de personas o sistemas ante las distintas situaciones que experimentan. Por poner un ejemplo, la manera en que inflan de los activos financieros ante cambios en las variables económicas, políticas o sociales puede seguir patrones o funciones predecibles por la psicológica del mercado, como el miedo y la avaricia, que pueden amplificar las fluctuaciones del mercado. "la alteración de determinados patrones de comportamiento del sistema bancario a consecuencia de pérdidas económicas ha llevado a una mayor aversión al riesgo entre los agentes financieros". (Lesmez Abad, 2020).

Según Lordon F, (2009), una crisis financiera puede definirse como el colapso de una creencia colectiva en la estabilidad económica, donde se oculta una verdad fundamental que sugiere que el análisis de fenómenos financieros es más afín a la antropología social que a la matemática financiera. Las crisis financieras suelen ser provocadas por una combinación de factores económicos donde la volatilidad de los flujos de capital internacional ha expuesto a economías emergentes a crisis periódicas.

Las reacciones desmedidas de los inversores ante condiciones económicas cambiantes pueden provocar un contagio de nerviosismo en el mercado. Este fenómeno contrasta con el

pensamiento dominante dentro el ámbito financiero, así como con los enfoques mediáticos, que suelen proponer las finanzas como si fueran una ciencia exacta. Un enfoque más global no solo complementaría la comprensión académica de la materia, sino que también ofrecería un conjunto de herramientas prácticas para los responsables de las políticas económicas y financieras en Colombia, (Manzanelli, 2014).

La devaluación, de acuerdo con Manzanelli (2014), consiste en el proceso de disminución del valor de una moneda con relación a otras. Se empela por parte del Gobierno como un mecanismo para corregir situaciones desiguales en la balanza de pagos y para incentivar las exportaciones como consecuencia de que los productos nacionales resultan más competitivos en el mercado internacional. La devaluación también puede incluir efectos indeseables como el aumento de los precios de las importaciones y el aceleramiento de la inflación. Cuando un Estado devalúa su divisa, esto afecta el precio de las mercancías que importará ese país, lo que puede hacer que los precios tiendan a aumentar en todos los aspectos, de forma que se estaría comportando como en la situación de inflación. Adicionalmente, dicha situación puede provocarse unas expectativas inflacionarias en los consumidores y en los empresarios, perpetuándose así un ciclo inflacionario. De este modo, explicar esta relación es importante para ayudar a crear formas que tiendan a la estabilidad económica y social en situaciones donde estos fenómenos son recurrentes.

Licona y Close (2001) mencionan la experiencia en el uso de redes neuronales para la predicción de crisis financieras, en tanto que aparecen como herramientas extremadamente poderosas que son capaces de encontrar patrones complejos en datos económicos. De esta manera, si se analizaran datos históricos que guardasen relación con indicadores económicos

tales como tasas de interés, inflación, flujos de capital y precios de activos, se podrían encontrar patrones que anteceden a crisis económicas y aplicar dicho conocimiento para anticipar futuros colapsos de crisis.

Al final de la jugada, la introducción de estas herramientas en el análisis financiero podría ayudar a comprender mejor y gestionar crisis económicas, y por tanto ayudaría también a mejorar la estabilidad de los mercados. Es un enfoque relativamente innovador que viene a dar algo nuevo a las modalidades tradicionales de análisis.

Metodología

La presente investigación se inscribe en un paradigma positivista, debido a su enfoque en la objetividad, la medición precisa, la búsqueda de regularidades, el uso de métodos cuantitativos, la verificación empírica y el supuesto de una realidad externa y comprendida. Estos principios se reflejan tanto en la metodología empleada como en la filosofía subyacente al enfoque de las redes neuronales. ya que su finalidad es la identificación de patrones recurrentes en las crisis financieras de Colombia. El objetivo de la investigación consistirá en, a partir del análisis de series de tiempo de una batería de indicadores económicos considerados relevantes y significativos para el caso de estudio, modelar las dinámicas del ciclo económico y el comportamiento de los agentes económicos ante eventos de shocks que puedan sufrir. Este enfoque de la ciencia, el cual parte de la concepción de la realidad social como algo objetivo y mensurable, se enfocará en el desarrollo de modelos estadísticos que permitan predecir la aparición de crisis, así como su magnitud. De acuerdo con Torres (2011), "Un enfoque

positivista tiene su fundamento en la idea de que los fenómenos sociales pueden ser objeto de estudio con el mismo rigor con que son estudiados los fenómenos naturales". Esta afirmación implicaría que es factible llevar a cabo un análisis de las crisis económicas con modelos matemáticos y estadísticos, lo cual genera, a su vez, un conocimiento más amplio y, sobre todo, más sólido de estos fenómenos económicos.

Enfoque

El trabajo de investigación expuesto utilizará un enfoque cuantitativo a partir de redes neuronales para identificar los ciclos económicos en Colombia y encontrar patrones vinculados con crisis financieras. Para ello, se analizarán datos macroeconómicos anuales –PIB, inflación, tasa de interés, tasa de desempleo, precio del dólar y precio del petróleo- que engloben un período desde 1995 hasta 2023. Con ello se estimó, a partir de modelos de predicción y de redes neuronales, las relaciones entre sí, además de encontrar los factores de riesgo que pueden incurrir en una crisis.

La elección de una red neuronal, en lugar de otros métodos, se justifica en que esta ofrece mayor precisión y particularidad al modelar las complejas relaciones entre las variables económicas. Este enfoque no solo permite identificar patrones comportamentales de crisis financieras pasadas, sino que también sirve de soporte para la actualización de eventos futuros, lo cual es crucial para el desarrollo de políticas económicas más eficientes y anticipadas.

Además, las redes neuronales son herramientas computacionales diseñadas para aprender patrones complejos a partir de los datos, imitando el funcionamiento del cerebro humano. Su capacidad para capturar relaciones no lineales las convierte en ideales para la predicción de eventos financieros, superando las limitaciones de los métodos más tradicionales.

Alcance

Para este propósito, la investigación prevista tendrá un alcance tanto descriptivo como explicativo en la medida en que se pretende obtener la descripción de los mismos fenómenos que ya ocurrieron en el pasado y hacer proyecciones de eventos en el futuro. La investigación tiene como finalidad ofrecer un panorama claro acerca del comportamiento de las crisis financieras ocurridas en Colombia entre 1995 y 2023. Para ello, se establecerán criterios específicos que servirán como alertas de la posible presencia de una crisis futura, lo cual comprende la búsqueda de la existencia de umbrales críticos en indicadores económicos que pueden comportarse como signos de advertencia. De esta manera, la investigación permitirá llegar a una mejor comprensión de las dinámicas económicas y permitirá anticipar momentos de riesgo del contexto financiero en el que se desenvuelven las finanzas colombianas.

Diseño

La exploración tendrá lugar a través del uso de documentación y un diseño no experimental, lo que significa llevar a cabo el análisis de datos históricamente existentes sin intervención de las variables. Intenta identificar y sintetizar estudios previos que con utilización de los modelos predictivos basados en el análisis de redes neuronales, su grado de efectividad y los resultados obtenidos en los tipos de contextos económicos que han sido analizados. Esto dará lugar a una fundamentación sólida para el diseño final del modelo propuesto. Para la selección de documentos se determinan unas pautas claras, priorizando los que son dedicados en su mayor

grado posible al uso de las redes neuronales aplicadas a la predicción de mercados financieros y a pronósticos de crisis financieras, (Ocaris Pérez, 2007).

Instrumentos y Herramientas

La presente investigación se enfoca en la utilización de redes neuronales con el propósito de cuantificar el riesgo crediticio mediante el software para el análisis estadístico RStudio y técnicas de visualización de datos. Este enfoque implica precisamente el papel que desempeñan las redes neuronales para explicar datos no-lineales, así como la función que desarrollan en el ámbito de la toma de decisiones financieras, sobre todo en periodos de crisis. En este sentido, el modelo predictivo se generará haciendo uso de una red neuronal artificial, inspirada precisamente en aquellos patrones de comportamiento que se han podido notar desde el punto de vista de fenómenos ocurridos en las crisis financieras en Colombia a través de las distintas etapas de los ciclos económicos existentes. Estas redes neuronales, tal y como imitan la estructura del cerebro humano, constituyen un argumento práctico para intentar explicar y pronosticar los complejos fenómenos de crisis que se pueden apreciar en el mundo.

Con el fin de llevar a cabo dicha investigación se consideran determinadas variables Macroeconómicas (Variaciones en la tasa de interés, PIB, tasa de desempleo, inflación, precios del petróleo y del dólar) por su relevancia teórica y empírica para la macroeconomía colombiana. Estas variables han demostrado históricamente su influencia en la estabilidad económica y han estado vinculadas a crisis financieras pasadas en el país. La investigación busca analizar cómo estas variables interactúan y contribuyen a la aparición de crisis, así como identificar patrones que permitan anticipar futuros eventos.

Además, la disponibilidad de datos confiables del Banco de la República y otros organismos relevantes es un factor determinante en la selección de estas variables. La delimitación del estudio a datos financieros y económicos de Colombia restringe la inclusión de otras variables para las cuales no se dispone de información comparable. En resumen, la elección de estas variables se basa en su importancia para la economía colombiana, su relación histórica con la crisis financiera, la necesidad de cumplir con los objetivos de la investigación y la disponibilidad de datos confiables.

Los datos que se facilitarán, se recogerán de fuentes oficiales y fiables (Banco de la República, DANE). Sobre esta información se elaborará una síntesis comparativa que resuma los hallazgos más relevantes, enfatizando tanto los aspectos positivos como las limitaciones de los modelos existentes, cuya finalidad es orientar la elaboración del sistema de alerta temprana que se espera prevenir crisis financieras en el futuro en Colombia, así como derivar un marco de referencia que permita obtener resultados importantes.

Cuadro de Variables y Categorías

CUANTITATIVO. Variables

OBJETIVO	VARIABLE	DOMINIO	INDICADOR
Determinar el patrón comportamental de las crisis financieras desarrolladas entre 1995 y 2023, por medio de una red neuronal.	patrones de comportamiento económico	Periodo temporal 1995-2023	Patrones de volatilidad - Indicadores de alerta temprana

CUALITATIVO. Categoría

OBJETIVO	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CATEGORÍA EMERGENTE	JUSTIFICACIÓN SEGÚN OBJETIVOS
Analizar el comportamiento de las crisis financieras que se desarrollaron en Colombia entre 1995 y 2023, por medio de estadística descriptiva.	Crisis Financieras	-Crisis hipotecaria 1998 - Crisis de 2008 (colapso Lehman Brothers) - Crisis de liquidez 2014 - Crisis por pandemia 2019	Ciclos económicos identificados Frecuencia de crisis	Variable central para analizar, describir y determinar el patrón comportamental de las crisis , y para identificar el patrón de la economía nacional en función de la crisis .

Este de cuadro de variables este sujeto a modificación de acuerdo a como se desarrolle la investigación, si esta se modifica el cuadro de variables también.

Procedimientos

Recopilación y Preparación de Datos

En una primera instancia se identificaron fuentes confiables de información de datos económicos referentes a la economía colombiana para el periodo que abarca el año 1995 hasta el 2023. Para ello se tendra en cuenta bases de datos del Banco de la República, DANE, FMI, etc. Consecuente a esta identificación se descargara la información, descargaron datos macroeconómicos y se establecerán la información y datos en un formato estructurado (Excel).

Luego del exhaustivo estudio de la literatura académica y de reportes oficiales para identificar y definir las principales crisis financieras acaecidas en Colombia durante el período de

estudio; se alcanzará a documentar las respectivas características de cada crisis: fechas, principales causas, sectores afectados y consecuencias económicas.

Construcción de la Base de Datos y Red Neuronal

Se creará una base de datos que contendrá los datos de las crisis económicas y los indicadores macroeconómicos elegidos. Una vez seleccionado el tipo de red neuronal, se ha sometido a un proceso de estudio previo y comparación con otras inteligencias artificiales como el árbol de decisiones, el árbol de decisión o el bosque aleatorio, se concluye que el más adecuado para el análisis será a través de la red neuronal (RNN). Las pruebas y reprocesamientos de los datos se llevarán a cabo para confirmar su calidad y adecuación al modelo de red neuronal.

Análisis de Resultados

Llevar a cabo una evaluación del rendimiento de la red neuronal utilizando métricas que sean adecuadas y realizando un análisis de los patrones que la red neuronal ha detectado para encontrar las conexiones que puedan existir entre las variables de los indicadores macroeconómicos y la aparición de crisis financieras, representando de una forma clara y concisa, utilizando gráficos y tablas, los resultados. En consecuencia, se detectarán los indicadores macroeconómicos que actúan como señales de alarma anticipada para detectar la posible aparición de crisis financieras.

- Buscar técnicas que permitan interpretar los resultados de la red neuronal y descubrir las razones que provocan las predicciones.
- Evaluar la sensibilidad del modelo ante cambios en los datos y/o en la arquitectura de la red neuronal.
- Hacer un informe final que presente de manera clara y concisa los resultados del estudio, incluyendo limitaciones y futuras líneas de investigación.
- Utilizar herramientas de programación como Rstudio para llevar a cabo el análisis de datos y la construcción de los modelos.

Con el cumplimiento de los pasos aquí descritos, obtendremos un análisis exhaustivo en lo que respecta al comportamiento de las crisis financieras en Colombia, con la que podremos formular técnicas que nos sirvan para la toma de decisiones en el espacio económico.

Consideraciones éticas

En la elaboración de esta investigación, se han empleado criterios estrictos de ética de investigación con el propósito de garantizar la fiabilidad que posee los resultados recogidos. La ética de la investigación es fundamental para sostener la integridad del proceso de investigación y la fiabilidad de los resultados. El manejo de la información se ha producido con un estricto cuidado con el objetivo de asegurar que cada fuente consultada sea lo suficientemente válida y pertinente. Para lo cual se han priorizado fuentes académicas y científicas reconocidas y se ha llevado a cabo un análisis crítico de la información recogida para asegurar su validez.

La base de datos obtenidos, fueron manejados con absoluto respeto, sacados de fuentes profundas y veraces. La estricta adherencia a los criterios éticos citados garantiza la apertura y respetuosa consideración de los participantes consolidan la validez del estudio, retener altos niveles éticos en cada epígrafe de la investigación ayuda a edificar la confianza en los hallazgos presentados.

La aplicación estricta de los criterios éticos resulta un aspecto esencial para el desarrollo de forma responsable y profesional de las investigaciones académicas; estos criterios no solo aseguran la calidad y la legitimidad de los resultados, sino que a la vez también permiten la construcción de un espacio académico respetuoso y fiable.

Cronograma

Figura 4

Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES						
OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES	MES			
			Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Analizar el patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023, por medio de una red neuronal, identificando el patrón de la economía doméstica en función de las crisis	OE1: 1. Analizar el comportamiento de las crisis financieras que se desarrollan en Colombia entre 1995 y 2023.	A1: Identificación de las crisis financieras donde se vio afectada la economía Colombiana	X			
		A2: Descripción de las crisis financieras presentadas en Colombia entre los años 1995-2023.	X			
	OE2: 2. Determinar el patrón comportamental de las crisis financieras desarrolladas entre 1995 y 2023 por medio de una red neuronal	A1: Creación de base de datos de factores macroeconomicos durante los años 1995-2023		X		
		A2: Creación de red neuronal, basada en los datos recolectados		X	X	
	OE3: 3. Identificar el patrón de la economía nacional en función de la crisis financiera entre 1995-2023	A1: Determinar los patrones comportamentales, en función de la red neuronal.			X	
		A2: Analizar los factores macroeconomicos estudiados anteriormente, para identificar una alerta temprana a posibles eventualidades				X

Fuente: Elaboración propia.

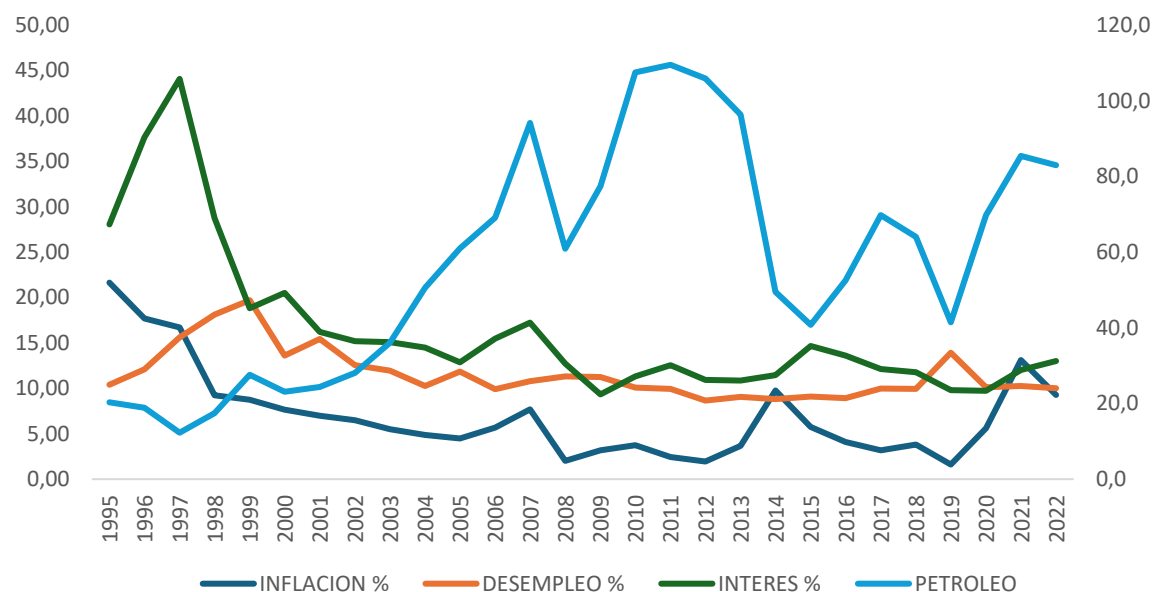
Comportamiento de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023

Colombia ha atravesado a lo largo de su historia diversas crisis financieras, las cuales han estado atadas a diversos factores macroeconómicos que han ejercido un profundo impacto sobre el sistema financiero del país. Por lo tanto, el estudio del comportamiento de estas crisis da paso a la detección de tendencias y de patrones importantes en la forma de los desplomes de los diversos círculos financieros. De ahí que las crisis financieras que se han presentado en la economía colombiana han sido recurrentes y han hecho mella en diversos sectores.

Por ejemplo, en la Figura 3 se muestran los principales factores macroeconómicos entre el periodo 1995 a 2022 que han desencadenado las crisis financieras en Colombia. Cabe resaltar que durante la primera parte de la década de los noventa, se experimentó un comportamiento positivo que contrastó con la evolución posterior a 1995.

Figura 3.

Grafica de factores macroeconómicos. (Inflación, desempleo, interés, petróleo)



Nota: Información extraída del Banco de la Republica; DANE;

A partir de este momento, la economía nacional estuvo caracterizada por un deterioro progresivo del sistema financiero nacional, evidenciado en el aumento paulatino de su cartera vencida, aunque el producto crecía aún a un ritmo importante. Esta situación no preocupó en principio a la banca, razón por la cual se continuó con el plan de expansión de su actividad crediticia, lo cual empeoró progresivamente este indicador (Arias, 2000).

En continuidad, se observa en la Figura 3 que las variaciones del precio del petróleo corresponden al principal factor de incidencia en las crisis financieras durante los últimos 20 años, seguido de las tasas de interés, el desempleo y la inflación. Así mismo, publicaciones como la de Ocampo (2023) señala que durante el siglo XXI la economía nacional experimentó una de las más fuertes crisis para el año 2014, a raíz de la caída de los precios del petróleo, a tal punto que para el año 2015 se registró un fuerte deterioro en la cuenta corriente de la balanza de pagos, sumado al hecho que el Banco de la República elevó la tasa de intervención de 3,75% a 7,75% entre 2014 a 2016.

Crisis financiera entre 1998-1999

A pesar que a comienzos de la década de los noventa el país acometió reformas que liberalizaban el sistema financiero, se generó una crisis distinta a las registradas anteriormente, dado a que su naturaleza, extensión y costos fueron diferentes por la grave afectación que tuvo el sector financiero y la economía general. Por ejemplo, se da paso a la alta entrada de capitales internacionales y el gran dinamismo de la demanda interna, aspecto que generó un ritmo de crecimiento satisfactorio porque la banca presentó una dinámica importante caracterizada por el aumento del crédito y los depósitos, en medio de una caída en su relación de cartera vencida/

cartera bruta, siendo una relación de solvencia favorable debido al aumento en su margen de utilidades (Gómez et al., 2002).

Sin embargo, la crisis financiera asiática de 1997 sumado a la deuda externa de Rusia en 1998 tuvo repercusiones globales, y Colombia no fue la excepción. Fue así como la suma de factores externos consecuente a la salida de capitales internacionales y domésticos relacionados a excesos de demanda pública y privada, dieron inicio a una fase de contracción del producto desde finales de 1997 hasta 2001. El impacto se produjo en el aumento de los costos de los flujos de capital en economías emergentes y de desarrollo (González & García, 2002; Ocampo, 2023).

A partir de este momento, los indicadores reales y financieros comenzaron a empeorar: se inició una fuerte caída de la actividad económica, aumentaron los indicadores de impago, las tasas de interés de captación y colocación, y se contrajeron los depósitos y el crédito. Obviamente esto terminó por agravar la situación económica, evidenciándose en última instancia la retroalimentación de ambos fenómenos. Este panorama, registró un aumento de la deuda externa privada, porque se disminuyó el financiamiento de los costos externos y hubo sobrevaluación cambiaria. (Arias, 2000).

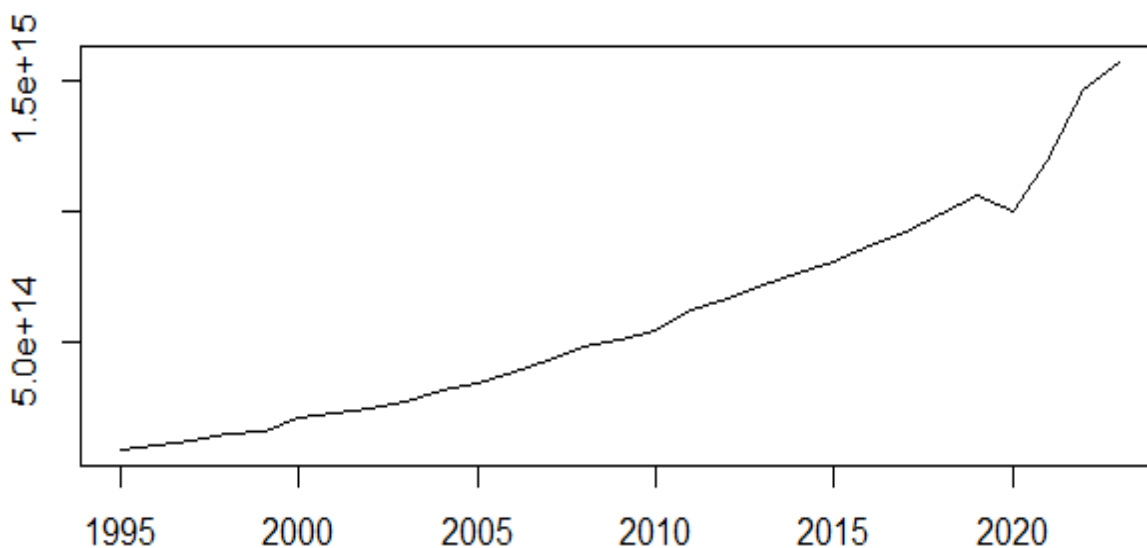
Como resultado del contexto anterior, el sistema financiero colombiano sufrió una modificación profunda debido a un cambio sustancial en su marco regulatorio, debido a la pérdida de reservas internacionales, la reducción de la oferta monetaria y el aumento de las tasas de interés (Ocampo, 2023). No obstante, entre 1990 y 1992, el gobierno llevó a cabo una serie de reformas con el objetivo de desregular el sistema, permitiendo el ingreso de capitales internacionales y mejorar la eficiencia en materia de obtención y asignación de recursos crediticios que hasta ese momento eran bastante rigurosos (Reinhart & Rogoff, 2009).

Fue así como el Banco de la República adoptó políticas monetarias restrictivas, elevando las tasas de interés. Estas medidas encarecieron el crédito y redujeron la liquidez en el sistema financiero, lo que llevó a una contracción del consumo y la inversión (Arias, 2000). Sin embargo, a través de esta nueva regulación se afectaron distintos aspectos del mercado bancario; razón por la cual, se procedió a la privatización de gran parte de la banca estatal, que a su vez dio paso a la clausura de importantes bancos externos y se recapitalizaron algunos bancos nacionales mediante recursos de éste último. Además, la mayoría de los bancos existentes se reestructuraron mediante fusiones o renovaciones internas (Gómez et al., 2002).

En consecuencia, el Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia se contrajo un 4,2% en 1999 como se observa en la Figura 4, lo que refleja la severidad de la recesión (Banco de la República, 2020).

Figura 4

PIB anual en Colombia entre 1995 a 2020

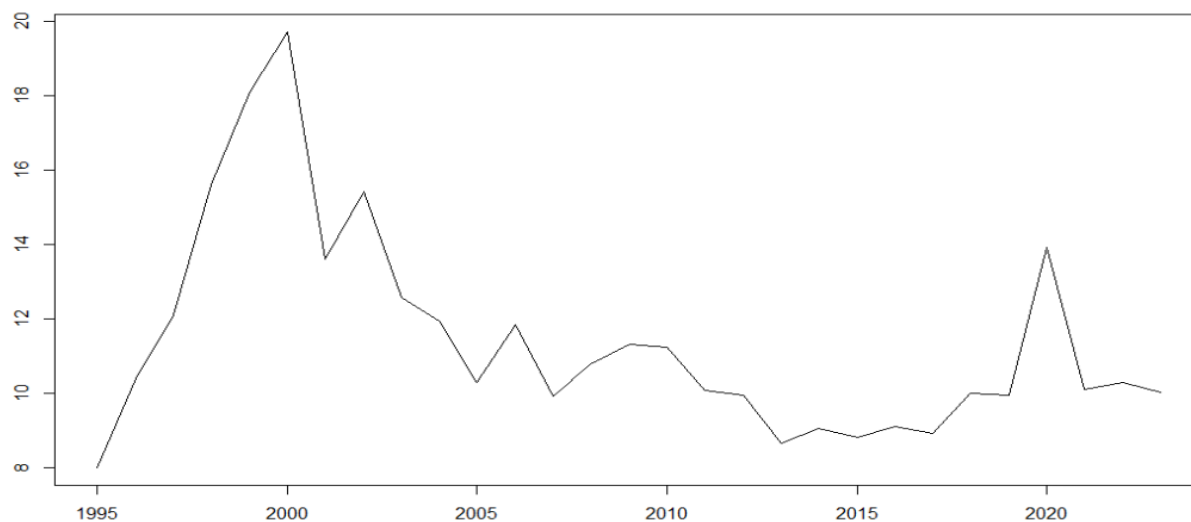


Nota: Información extraída del informe de Banco de la República (2024)

En simultáneo, la tasa de desempleo alcanzó niveles alarmantes superando el 20% de acuerdo al registro de la Figura 5, lo que exacerbó la situación económica y social del país afectando a millones de hogares que dependían del empleo formal (DANE, 2021).

Figura 5

Tasa de desempleo anual en Colombia entre 1995 a 2020



Nota: Información extraída del DANE (2021).

En conclusión, la crisis de 1998-1999 se caracterizó por una combinación de factores internos y externos que la hicieron única. Según Cabellero (2001) esta crisis tuvo una naturaleza, extensión y costo diferentes a los de crisis anteriores, afectando de manera significativa tanto al sector financiero como a la economía en general. Se trata de la crisis más grave que ha vivido el país en la historia reciente, marcada por un colapso en el sector bancario y por una grave recesión económica. Este acontecimiento complejo fue el resultado de decisiones económicas equivocadas y de un cúmulo de elementos adversos de origen exógeno. La lección principal que se extrae de esta experiencia es la que recomienda mantener un equilibrio entre el crecimiento económico y la sostenibilidad fiscal con el fin de evitar futuras crisis.

Crisis financiera de 2008

En el marco del contexto mundial de crisis financiera que tuvo su origen en el mercado inmobiliario estadounidense a finales de la década de 2000, a raíz de la inestabilidad de las hipotecas de tipo subprime, se generó una onda expansiva que terminó por llegar a los mercados financieros del resto de países, siendo un detonante que produjo repercusiones bastante significativas sobre la economía colombiana (Chavarro, 2013). Según lo indicado por Giraldo et al. (2022), esta crisis produjo un impacto en el canal del crédito bancario en Colombia, lo que demuestra un cambio en la eficacia de la política monetaria en 2007.

Sí bien, las instituciones financieras colombianas estaban menos expuestas que la de los países desarrollados, debido a que los bancos nacionales tenían una baja participación en activos tóxicos y productos financieros del sistema financiero internacional, los efectos de la contracción del crédito y la evolución volátil de los mercados el resto del mundo produjo el aumento en el acceso a créditos hipotecarios, por ende, a un incremento en el endeudamiento de las familias colombianas (Chacón et al., 2017; Mesa et al., 2008). De hecho, otras publicación como la de Cárdenas & Badel (2003) afirman que la relación préstamo-valor (LTV) se incrementó significativamente, lo que aumentó la vulnerabilidad ante cambios en las tasas de interés.

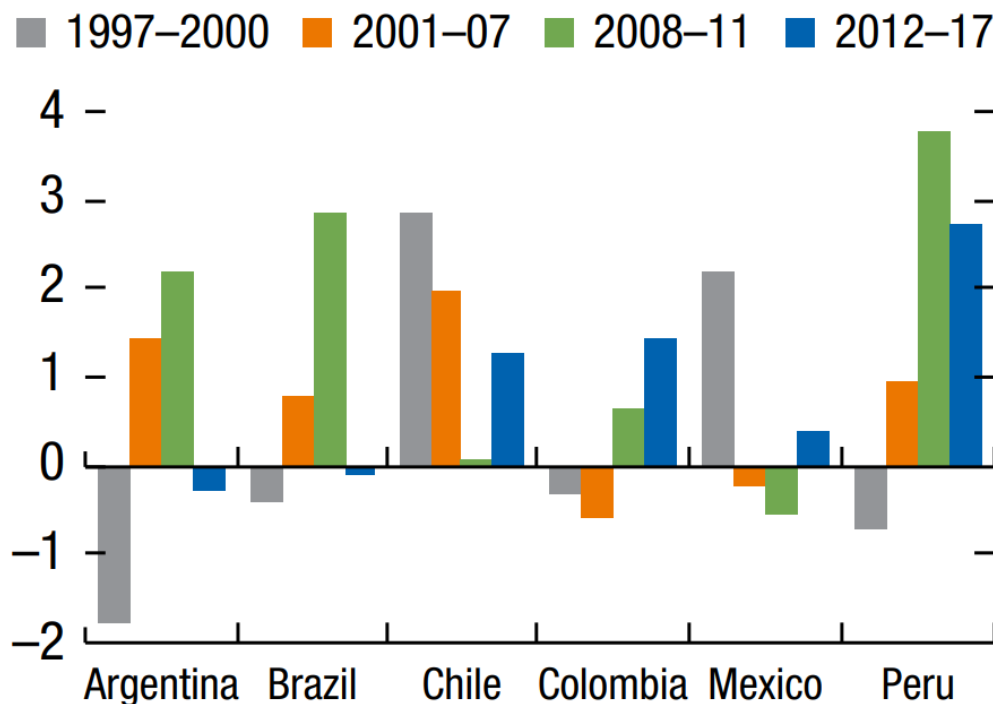
Lo cierto es que previo a la crisis, Colombia experimentó un crecimiento sostenido pero también acumuló vulnerabilidades, sobre todo en mercados de exportación y de la canasta de productos commodities, porque la economía colombiana dependía en gran medida de las exportaciones de materias primas, lo que la hacía susceptible a fluctuaciones en los precios internacionales (De Sá Farias et al., 2022). Así mismo, la desaceleración económica en países

desarrollados resultó en una disminución de las remesas enviadas por colombianos en el exterior, y en una contracción de los flujos de inversión extranjera directa hacia el país (CEPAL, 2022).

Sumado al contexto anterior, el país se enfrentó al fenómeno de esquemas fraudulentos de captación de dinero o pirámides que colapsaron, afectando la confianza del consumidor y generando pérdidas significativas para miles de inversionistas (Hofstetter et al., 2017). La combinación de los factores anteriores, conllevó a un aumento en las tasas de desempleo y a una desaceleración del crecimiento económico en Colombia durante 2008 y 2009, a tal punto que entre el periodo 2008 a 2011, se registró en el país el índice más bajo de crecimiento de productividad en comparación con otros países de Latinoamérica como se observa en la Figura 6 (David et al., 2021).

Figura 6

Crecimiento de productividad laboral en países de Latinoamérica entre 1997 a 2017



Nota: tomado del informe de la dinámica del mercado laboral en América latina, publicado por David et al. (2021)

En consecuencia, el crecimiento del PIB tan para el año 2008 fue de solo 2.5%, siendo una clara desaceleración respecto a años anteriores (Bielschowsky & Torres, 2018). Por su parte, el peso colombiano experimentó una significativa volatilidad debido a que en la primera mitad del año se registró entrada de capitales tras el estallido de la crisis financiera global, pero dicha volatilidad afectó las expectativas económicas y generó incertidumbre entre los inversionistas (Bielschowsky & Torres, 2018).

Sobre esta situación, el Banco de la República incrementó las tasas de interés para controlar la inflación, que alcanzó niveles preocupantes debido al aumento en los precios de los alimentos y combustibles (Cifuentes et al., 2020). Entre tanto, la tasa Depósito a Término Fijo - DTF pasó de 5.9% en abril de 2006 al 10.1% en noviembre de 2008, lo que encareció el crédito y afectó el consumo y la inversión. A su vez, se implementaron estrategias sobre la política monetaria expansiva lo cual significó que el Banco de la República redujo las tasas de interés para estimular el crecimiento económico y facilitar el acceso al crédito (Chacón et al., 2017).

Por otro lado, se produjo una intervención estatal, a partir de la cual se implementaron programas para apoyar a sectores vulnerables y se reforzaron las políticas fiscales para mitigar el impacto social de la crisis. Finalmente, La resiliencia del sistema financiero colombiano, impulsada por una regulación estricta y políticas macroeconómicas prudentes, fue clave para enfrentar la crisis comparativa ante otros mercados emergentes, debido a reformas previas y una regulación más estricta en comparación con crisis anteriores.

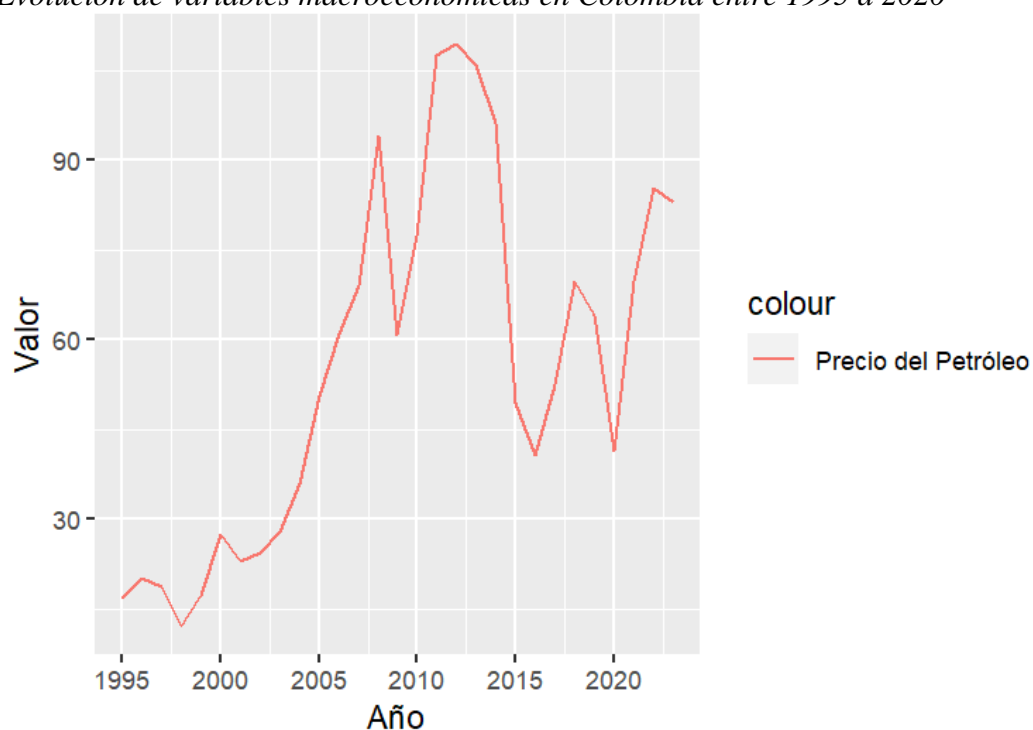
Crisis financiera de 2015-2016

En continuidad, para el año 2015, la economía colombiana enfrentó desafíos significativos entre 2015 y 2016, a raíz de la desaceleración económica que desencadenó varios

factores negativos para el crecimiento y la estabilidad económica del país. Al respecto, Ocampo (2023) explica que el detonante de la crisis ocurre por la drástica disminución de los precios internacionales del petróleo que iniciaron en 2014, a tal punto que se pasó de \$115 dólares por barril a menos de 30 dólares en 2016 como se observa en la Figura 7, situación que afectó severamente los ingresos, dado a que el petróleo representaba una porción significativa de las exportaciones y de los ingresos fiscales del país (Erazo & Rosero, 2016).

Figura 7

Evolución de variables macroeconómicas en Colombia entre 1995 a 2020



Nota: adaptado de la información del reporte de Statista (2024) sobre el Precio medio anual del petróleo crudo fijado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) de 1960 a 2024

Como efecto, la reducción en los ingresos por exportaciones, especialmente del petróleo, produjeron una depreciación significativa del peso colombiano, y con esto se encarecieron las importaciones y se aumentó la inflación interna, lo que impulsó a su vez a un déficit fiscal, razón por el cual el gobierno se vio obligado a ajustar el gasto público, reduciendo la inversión en

proyectos sociales y de infraestructura. Adicionalmente, el país se enfrentaba a un contexto externo adverso, debido a la desaceleración de la economía de China y la incertidumbre internacional, por lo tanto, se afectó el poder adquisitivo de los consumidores y se elevaron los costos de producción para las empresas que dependían de insumos importados (Banco de la República, 2017).

No obstante, a nivel interno, entre 2015 y 2016 Colombia se enfrentó una crisis energética debido a fenómenos climáticos como El Niño, que afectaron la generación hidroeléctrica. Esta situación llevó al racionamiento de energía y aumento de los costos de producción, por lo tanto, se registró un impacto negativo de la productividad y competitividad de las empresas (Mendoza et al., 2016). Con el transcurso de las crisis, una serie de desequilibrios por la expansión del endeudamiento limitaron el acceso a financiamiento externo, exacerbando la desaceleración económica del país (Banco de la República, 2017).

De inmediato, se registró una baja en los ingresos fiscales del gobierno colombiano, que dependía en gran medida de las regalías petroleras. Esta crisis fue el resultado de una combinación de factores externos e internos que afectaron gravemente la economía nacional, en la medida en que la caída de los precios del petróleo, junto con políticas económicas insostenibles, condujeron a un deterioro significativo en las condiciones económicas del país (Cala, 2015).

En cuanto al Producto Interno Bruto-PIB nacional para el año 2015 fue de 3.7% a 3.9% del PIB para 2015 (ver Figura 4). Además, el déficit en cuenta corriente alcanzó niveles alarmantes, estimándose en un 6.2% del PIB, Lo que conllevó a la devaluación del peso colombiano frente al dólar, lo que encareció las importaciones y aumentó el costo del servicio de

la deuda externa (Botero, 2015). En contraparte, se generaron presiones inflacionarias adicionales, con una inflación que alcanzó el 6.4% anual en noviembre de 2015.

Finalmente, la caída en la inversión privada y el consumo de los hogares también contribuyeron a esta desaceleración. Teniendo en cuenta estos datos importantes para entender las afectaciones provocadas por la crisis, fue notable la serie de efectos adversos en diversos sectores económicos, uno de ellos fue el aumento del desempleo. De hecho, la reducción en la actividad económica llevó a un aumento significativo en las tasas, a tal punto que la pobreza nacional a finales de 2015 fue de aproximadamente el 27.8% de la población colombiana vivía por debajo de la línea de pobreza (González, 2016; DANE, 2015).

Entre las estrategias de respaldo como respuesta a la crisis, el gobierno colombiano tomó medidas para ajustar su política fiscal y monetaria, tales como diversificación de la economía y el fortalecimiento de las políticas macroeconómicas para mitigar el impacto de futuros choques externos. Además, la crisis energética y la caída en la inversión extranjera evidenciaron la importancia de desarrollar sectores estratégicos y reducir la exposición a volatilidades globales.

Crisis financiera 2020 (Covid 19)

La pandemia global causada por el virus CoVid-19 impactó varias economías mundiales incluyendo aquellas latinoamericanas donde los sistemas sociales ya estaban debilitados antes del mismo inicio de la emergencia sanitaria mundial. Esta es una de las crisis más recientes y sus impactos en la economía colombiana. El brote del CoVid-19 a finales de 2019 llevó a la declaración de una pandemia por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en marzo

de 2020. En Colombia, el gobierno implementó medidas drásticas como el aislamiento preventivo obligatorio para controlar la propagación del virus, lo que resultó en el cierre de negocios, escuelas y restricciones en el transporte (Gobierno de Colombia, 2020).

Las restricciones impuestas a modo de confinamiento con el esclarecimiento de la pandemia condujeron a una paralización drástica de la actividad económica en Colombia. Se estima que el Producto Interno Bruto (PIB) del país contrajo en un 6,8% en el año 2020, consagrándose como una de las caídas más drásticas en la historia reciente del país (DANE, 2021). Se estima que sectores como el comercio, la construcción y los servicios para la población fueron los más golpeados con una pérdida económica que case entre \$4,6 billones y \$59 billones mensuales dependiendo de la restricción aplicada (CEPAL, 2020).

Asimismo, la crisis resultó en un auge en el desempleo dado que al finalizar el año 2020 se reportan alrededor de 3,75 millones de personas desempleadas (La República, 2021). De hecho, la pobreza también aumentó drásticamente afectando a millones de colombianos en sus trabajos informales y actividades económicas vulnerables.

Para resolver la crisis provocada por la pandemia, el gobierno colombiano implementó una serie de medidas fiscales y monetarias encaminadas a mitigar los efectos económicos. La declaración de Emergencia Económica Social y Ecológica permitió al gobierno adoptar rápidamente políticas para hacer frente a la situación (Gobierno de Colombia, 2020). Medidas que incluyen subsidios a la nómina y alivios fiscales para los sectores que se vieron más impactados. Asimismo, el Banco de la República tomó acciones para facilitar la liquidez en el sistema financiero, reduciendo la tasa de intervención del 4,25% en marzo al 1,75% en septiembre (CEPAL, 2020). Esta reducción buscaba estimular el crédito y apoyar a las empresas

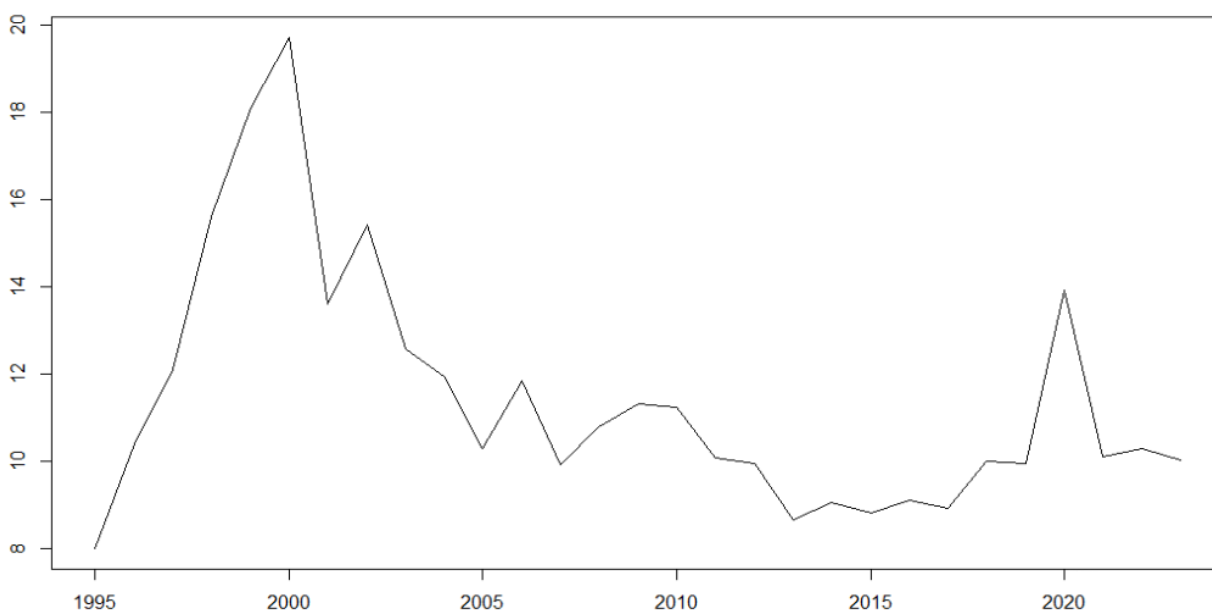
afectadas por la caída en la demanda. También Se implementaron programas sociales como el programa de apoyo al empleo formal (PAEF), que proporcionó subsidios a empleadores para mantener sus plantillas laborales (Cigüenza, 2021). Además, se suspendieron impuestos temporales como el IVA sobre ciertos productos y servicios para aliviar la carga económica sobre los ciudadanos.

En 2020, el PIB colombiano se contrajo un 6,8%, marcando una de las caídas más pronunciadas desde que se tiene registro (ver Figura 8). La tasa de desempleo alcanzó el 21%, lo que refleja el impacto devastador en el mercado laboral (DANE, 2021).

Figura 8

Tasa de desempleo anual en Colombia entre 1995 a 2020

Tasa de desempleo 1995 - 2023



Nota: Información extraída del DANE (2021)

Las crisis financieras en Colombia, en especial la del Covid 19, fue un fenómeno complejo que resultó del cierre abrupto de la economía debido a medidas sanitarias necesarias

para controlar la pandemia. La respuesta del gobierno incluyó una combinación de políticas fiscales expansivas y ajustes monetarios diseñados para estabilizar la economía y proteger a los sectores más vulnerables. A medida que las restricciones comenzaron a levantarse hacia finales de 2020, se observó una recuperación gradual; sin embargo, los efectos económicos a largo plazo continúan siendo un desafío significativo para el país. Las estadísticas descriptivas revelan patrones claros relacionados con el aumento del endeudamiento y las tasas de morosidad durante períodos críticos.

Red neuronal del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023

En primera instancia, para entender el patrón comportamental en el contexto de las crisis financieras, se presenta una breve definición según la literatura. En primer lugar, Hermosilla y Hermosilla (2023; Martínez (2022) señala que las finanzas comportamentales hacen referencia a las tendencias y reacciones observables en los actores económicos, mercados y políticas ante situaciones de inestabilidad financiera. Por tal razón, las pautas del comportamiento económico pueden incluir patrones de consumo, patrones de inversión empresarial, patrones de respuesta gubernamental y patrones de respuesta de los mercados financieros.

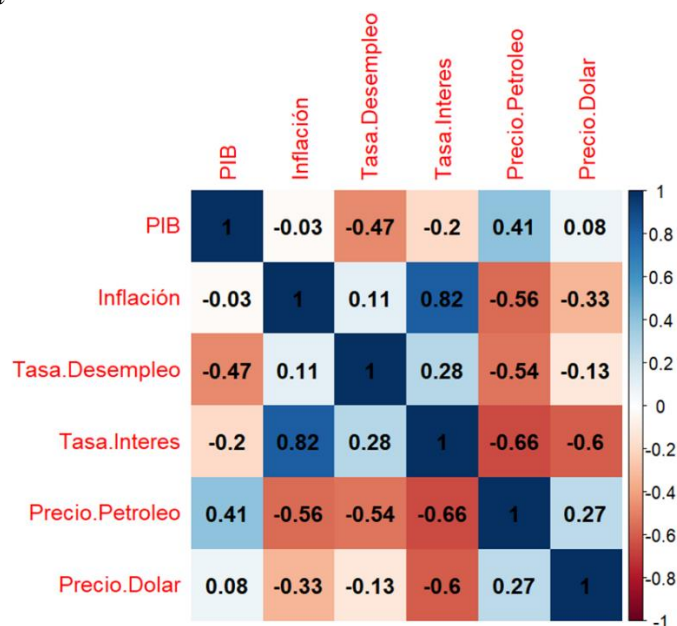
En lo que se refiere al contexto colombiano, las crisis financieras desde 1995 ponen de manifiesto la relevancia de comprender la situación económica y los patrones que la anteceden, pero también la de reconocer y comprender aquellos patrones que le hacen frente. En ese orden de ideas, la creación de la red de neuronas incluyó variables obtenidas del Banco de la República de Colombia y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE); las cuales

mejoran la precisión de los resultados, como: el producto interno bruto (PIB); la tasa de interés, la tasa de desempleo, la inflación, el precio del dólar y el precio del petróleo.

De esta manera, en la matriz de la Figura 9 se evaluaron las variables que están más asociadas a las crisis económicas nacionales, cuyos resultados presentan las interrelaciones sobre la predicción del modelo y la formulación de políticas económicas adecuadas.

Figura 9

Matriz de correlación



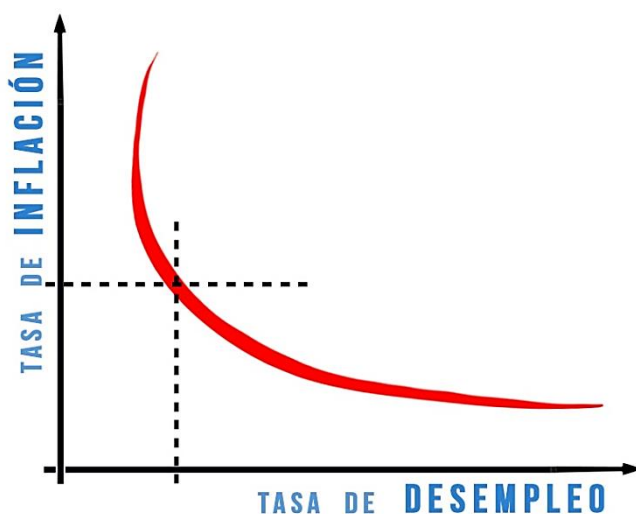
Fuente: Elaboración Propia

En continuidad, en la Figura 9 se observa una visión general de las relaciones lineales, por ejemplo, según lo indicado por Mankiw (2012), los valores cercanos a 1 indican una fuerte correlación positiva, los cercanos a -1 una fuerte correlación negativa y los cercanos a 0, son indicio de una ausencia de correlación lineal. A partir de lo anterior, es posible realizar pruebas de hipótesis para determinar si dichas correlaciones observadas son estadísticamente significativas.

Entre tanto, la correlación negativa, aunque leve, sostiene que a medida que avanza la economía (aumenta el PIB), la inflación tiende a desacelerarse. Por esta razón, la relación entre el crecimiento de la economía y la inflación ha sido muy estudiada en la literatura económica. Como referente, Mankiw (2012) explica a través de la curva de Phillips (ver Figura 10) la representación de relación inversa entre la inflación y el crecimiento económico en un corto plazo, aunque a largo plazo la inflación está determinada por los factores monetarios, aspecto que podría dar la impresión que a una mayor tasa de crecimiento económico se desencadenan presiones deflacionarias a causa de un aumento de la oferta.

Figura 10

Curva de Phillips



Nota: se ilustra la relación negativa entre la tasa de inflación y la tasa de desempleo. En el punto A, la inflación es baja y el desempleo alto. En el punto B la inflación es alta y el desempleo bajo. Tomado de Mankiw (2012).

Así mismo, la correlación negativa moderada es consistente con la teoría económica keynesiana, teniendo en cuenta que el crecimiento económico se asocia con una disminución del desempleo. De igual manera, Blanchard et al. (2012) destaca que la Ley de Okun establece una relación negativa entre el crecimiento del PIB y las variaciones en la tasa de desempleo. Esta ley

sugiere que un aumento en el crecimiento económico suele ir acompañado de una disminución en la tasa de desempleo.

Composición de la red neuronal de estudio

La estructura de la Red Neuronal para este ejercicio académico se compone de tres capas que son: capa de entrada, capa oculta y capa de salida. Respecto a la primera capa de entrada, puede decirse que contiene un nodo por cada una de las variables económicas relevantes que se han definido, como el Producto Interno Bruto (PIB), la inflación, la tasa de desempleo, la tasa de interés, el precio del petróleo y el precio del dólar. De igual manera, cada nodo tiene la función de una entrada, que sirve para proporcionar la red determinados datos cuantitativos. Esto permitirá a la red captar la información más relevante sobre el estado de la economía del país en la publicación de Fedorov et al. (2022).

En cuanto a la segunda capa que consiste en una serie de nodos cuyo trabajo es realizar cálculos complejos con base en los datos de entrada proporcionados por la capa de entrada. Con esta capa se llega a través de los nodos ocultos a ser capaz de captar interacciones no lineales entre las variables económicas. El número de capas ocultas y la cantidad de nodos en cada capa pueden ser dispares, en función de la complejidad del problema y del diseño de la red dada (Fedorov et al., 2022). Teniendo en cuenta esto, los nodos de cada capa están totalmente interconectados entre sí junto con los nodos de las capas contiguas, lo que facilita un flujo dinámico de información.

Por último, la tercera capa de la red neuronal es la capa de salida, en la que actúa la variable original, la cual representa el riesgo o la probabilidad de una crisis financiera. Sobre este factor, se ha añadido una variable más, que indica sí el riesgo de una crisis financiera sucede

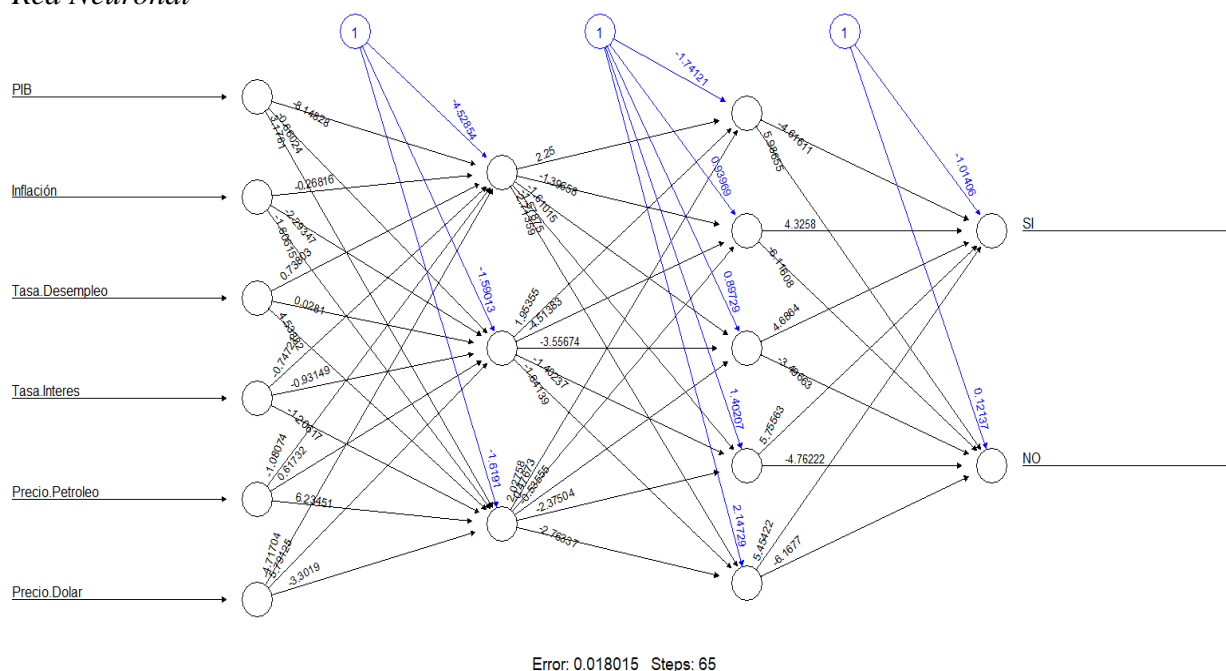
(variable (SI)) o no (variable (NO)). En ese orden de ideas, el nodo recibe la información que ha sido procesada desde los nodos ocultos, y a partir de esta, recibe una información de salida que en sí, se puede interpretar como una predicción sobre si sucederá o no una crisis. Se resalta, de acuerdo a la teoría de Goodfellow (2016), que la capacidad de predicción del modelo depende en buena medida de cómo se han entrenado las capas anteriores. Por otro lado, según Reinhart & Rogoff (2009): "las crisis financieras son eventos que dan lugar a profundas recesiones económicas y es un motor del aumento del desempleo simultáneamente" (p. 23).

Resultado Red Neuronal

Teniendo en cuenta la revisión teórica descrita anteriormente, se presenta la arquitectura multicapa de la red neuronal para este ejercicio académico como se observa en la Figura 11

Figura 11

Red Neuronal



Nota: Elaboración propia. Se construyó a través de Rstudio

Se compone de una capa de entrada, capas ocultas y salida binaria ("Sí" o "No" para crisis financiera). A su vez, las variables de entrada incluyen: PIB, inflación, tasa de desempleo, tasa de interés, precio del petróleo y precio del dólar, mientras que las conexiones están ponderadas con coeficientes que indican la influencia de cada variable en la predicción final.

Se observa, por ejemplo, una relación negativa moderada entre el PIB y la tasa de desempleo ($r = -0.47$, $p < 0.05$), lo que indica que el crecimiento económico en Colombia está vinculado a una reducción del desempleo. Por otro lado, la fuerte ponderación positiva entre la inflación y la tasa de interés ($r = 0,82$, $p < 0,05$) respalda la efectividad de la política monetaria en el control de los precios.

Adicionalmente, las conexiones en azul registran pesos negativos y positivos, indicando relaciones directas o inversas entre las crisis financieras, lo que quiere decir que los valores más altos (positivos o negativos) son los de mayor incidencia en la decisión final de la red, por ende de la crisis. Por ejemplo, el alto valor observado en la variable inflación o el desempleo puede estar correlacionado con mayor riesgo de crisis.

No obstante, se observa un error de entrenamiento de 0.018015 tras 65 iteraciones, lo que sugiere que la red logró aprender un patrón con alta precisión. Cabe resaltar que esto sucede porque el modelo está sobreajustado y si generaliza para predicciones futuras. Por lo tanto, el comportamiento observado en la Figura 11 resultó como se esperaba según la teoría económica de Blanchard et al., (2012); Dornbusch et al., (2011); Mankiw, (2012), en términos de la unión de variables como inflación y tasa de desempleo, las cuales tienen la función de establecer correlaciones sobre la estabilidad financiera de Colombia. El resultado obtenido, da cuenta de un

modelo predictivo de crisis que advierte de la misma, y que determina los patrones del comportamiento de crisis anteriores, para así limitar el efecto de todos sus efectos adversos.

Patrón de la economía nacional en función de la crisis financiera entre 1995-2023.

A lo largo de este período, Colombia ha demostrado una capacidad notable para implementar reformas y ajustes en respuesta a crisis financieras, cuyas respuestas incluyen reformas estructurales y políticas macroeconómicas prudentes. De hecho, a por la consolidación del sector financiero liderado por el Banco de la República han sido clave para mejorar la resiliencia económica del país como se observa en la **Tabla 2**. No obstante, la desigualdad económica sigue siendo una preocupación significativa, eclipsando los avances en la reducción de la pobreza.

Tabla 2**Resultados del comportamiento de crisis financiera entre 1995 a 2023**

Crisis Financiera	Causas Principales	Impacto en la Economía	Medidas Adoptadas	Resultados
1998-1999	Caída en flujos de capital	Recesión (-4.2% PIB en 1999)	Rescate financiero	Recuperación gradual
	alto endeudamiento crisis bancaria	desempleo al 16%	reestructuración bancaria, ajuste fiscal	fortalecimiento del sistema financiero
Crisis global (2008-2009)	Crisis hipotecaria en EE.UU.	Crecimiento reducido	Políticas fiscales y monetarias expansivas	Recuperación más rápida que otros países de la región
	caída de demanda externa	menor inversión extranjera		
Caída del petróleo (2014-2016)	Bajos precios del crudo	Déficit fiscal	Diversificación económica	Estabilización del PIB
	dependencia de exportaciones	Devaluación del peso	reformas tributarias	ajuste fiscal progresivo
		desaceleración económica		
COVID-19 (2020-2021)	Pandemia global, confinamientos, caída del comercio	Recesión (-6.8% PIB en 2020)	Estímulo fiscal	Recuperación moderada
		desempleo récord	Subsidios	aumento de la deuda pública
			Flexibilización monetaria	

Nota: elaboración propia y a partir de la revisión de literatura

Por otro lado, a pesar de las mejoras en los ingresos laborales, la concentración de la riqueza y las disparidades regionales continúan representando obstáculos para el desarrollo inclusivo y sostenible en Colombia. Por lo tanto, a lo largo de estas crisis, la economía nacional ha seguido un ciclo recurrente de crisis y recuperación, caracterizado por los patrones presentados Figura 12. En primer lugar, la vulnerabilidad externa se debe a la dependencia de flujos de inversión extranjera y exportaciones.

Figura 12

Patrones generales crisis financiera entre 1995-2023



Nota: Elaboración propia

Por su parte, las medidas contracíclicas están relacionadas a la expansión del gasto público y reducción de tasas de interés en crisis, seguidas de ajustes fiscales y monetarios en recuperación. Por último, la inflación y la devaluación tienen que ver con las dificultades para controlar los precios. Mientras que la crisis económica y el crecimiento post-crisis se relaciona al hecho que el crecimiento económico no ha sido equitativo, afectando más a sectores informales y poblaciones vulnerables.

Conclusiones

En primer lugar, la revisión de los patrones de comportamiento de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023 reveló que estas situaciones se han caracterizado por una alta vulnerabilidad a causa de factores internos y externos, los cuales han desencadenado endeudamiento excesivo, déficits fiscales persistentes, desequilibrios en la balanza de pagos, y una fuerte dependencia de los flujos internacionales de capital. En consecuencia, los patrones latentes fueron: la desaceleración del crédito, el deterioro del empleo, la depreciación del peso

colombiano, y una respuesta de política monetaria centrada en el control de la inflación a través del aumento de tasas de interés.

En ese orden de ideas, el comportamiento de la economía nacional en función de las crisis se desarrolló por fases, que iniciaron con señales de desaceleración y vulnerabilidad externa, luego con choques que amplifican la crisis, y finalmente con una etapa de recuperación marcada por ajustes en política monetaria y fiscal. No obstante, los gobiernos de turno desarrollaron mecanismos institucionales robustos, como una mejor regulación bancaria, una mayor independencia del Banco de la República y un sistema financiero más capitalizado, lo que ha permitido enfrentar las crisis con mayor resiliencia.

De igual manera, se observó que el análisis de las crisis financieras por medio de una red neuronal multicapa es favorable porque permite la identificación de patrones complejos y no lineales, a partir del manejo de grandes volúmenes de datos, los cuales suelen ser difíciles de manipular mediante métodos estadísticos tradicionales. Esto se debe a que, precisamente las redes neuronales multicapa permiten un aprendizaje profundo en sus capas ocultas, lo que las hace especialmente adecuadas para modelar fenómenos dinámicos que involucran múltiples variables interrelacionadas y comportamientos no predecibles a simple vista.

Así mismo, se concluye que la red neuronal multicapa supera a las técnicas de random forest, árbol de decisiones etc., porque se analizan simultáneamente variables cuantitativas y categóricas (tasas de interés, inflación, desempleo, balanza comercial, deuda externa, inversión extranjera, entre otras), de manera que es posible la interpretación incluso de datos en períodos previos a una crisis. Por lo tanto, las redes neuronales multicapa proporcionan una visión multidimensional del sistema económico y financiero a corto, mediano y largo plazo.

Recomendaciones

Se recomienda continuar el entrenamiento del modelo neuronal propuesto, a modo de mejorar el desempeño a medida que aumenta la cantidad de datos suministrados por el Banco de la República. De esta manera, será posible un análisis profundo y marginal, en la medida en que se tienen en cuenta diferentes hiperparámetros de penalización en las diferentes capas de la red.

Por último, se requiere poner en práctica el modelo a la crisis financiera actual, que corresponde a información financiera pospandémica, especialmente a partir del año 2023. Así se podrá mejorar la interpretación de las redes neuronales y la posible predicción de futuras crisis de gran impacto para el país.

Referencias

- Adrián, T. (2022). El incremento de las tasas de interés y la volatilidad de los mercados son señal de que los riesgos para la estabilidad financiera están aumentando. *Fondo Monetario Internacional*. <https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2022/10/11/interest-rate-increases-volatile-markets-signal-rising-financial-stability-risks>
- Akgün, A. İ., & Memiş, A. (2020). Investigating the relationship between working capital management and business performance: evidence from the 2008 financial crisis of EU-28. *International Journal of Managerial Finance*, 17(4), 545–567.
<https://doi.org/10.1108/IJMF-08-2019-0294>
- Alonso, M., Bagus, F., & Romero, A. (2013). Una ilustración empírica de la teoría austriaca del ciclo económico: el caso de Estados Unidos, 1988-2010. *Investigación Económica*, LXXII(35), 41–74. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ineco/v72n285/v72n285a2.pdf>
- Alonso, M., Sánchez, A., & Castro, M. (2022). Teoría austriaca del ciclo económico aplicada al caso español: del inicio del euro a la gran recesión y su recuperación. *Revista de Métodos Cuantitativos Para La Economía y La Empresa*, 35, 280–310.
www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/6837
- Arias, A. F. (2000). The colombian banking crisis: Macroeconomic Consequences and What to Expect. *Banco de La República and University of California at Los Angeles (UCLA)*. <https://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra157.pdf>

- Balmaseda, V., Coronado, M., & de Cadenas, G. (2023). Predicting systemic risk in financial systems using Deep Graph Learning. *Intelligent Systems with Applications*, 19, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200240>
- Banco de la República. (2017). Current Situation of the Colombian Economy. *Governor's Report*, 1–16.
<https://d1b4gd4m8561gs.cloudfront.net/sites/default/files/paginas/informe-gerente-2017-abr-eng.pdf>
- Banco de la República. (2024). *PIB trimestral observado - crecimiento anual (serie original)*. <https://suameca.banrep.gov.co/estadisticas-economicas/#!/informacionSerie/500011/Producto%20Interno%20Bruto%20%28PIB%29/PIB%20trimestral%20observado%20-%20crecimiento%20anual%20%28serie%20original%29>
- Bielschowsky, R., & Torres, M. (2018). Desarrollo e igualdad: el pensamiento de la CEPAL en su séptimo decenio. *CEPAL*.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ad17fbef-c199-4669-9082-a1e79ea123e5/content>
- Blanchard, O., Amighini, A., & Giavazzi, F. (2012). Macroeconomía. *Pearson*.
<https://danielmorochoruiz.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/macroeconomc3ada-blanchard.pdf>

- Caballero, C. (2019). Una visión retrospectiva de dos crisis financieras de los últimos cuarenta años en Colombia. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 1(82), 133–165.
<https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/dys/article/view/6731/6977>
- Cabellero, C. (2001). Una perspectiva de las crisis financieras de los años 80 y 90 en Colombia. *Revista Del Banco de La República*, 74(888), 41–61.
<https://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/banrep/article/view/11009/11406>
- Cala, A. (2015). Colombia y la crisis petrolera. *Real Instituto Elcano*.
<https://www.realinstitutoelcano.org/analisis/colombia-y-la-crisis-petrolera/>
- Cárdenas, M., & Badel, A. (2003). La crisis de financiamiento hipotecario en Colombia: causas y consecuencia. *Fedesarrollo*, 35–67.
<https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/934>
- Carmona, N. (2022). Redes neuronales regularizadas para la predicción de la inflación colombiana. *Universidad Nacional de Colombia*.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/814https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81484/1036676092.2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y84/1036676092.2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CEPAL. (2022). Foreign Direct Investment in Latin America and the Caribbean. *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe*.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ef1c0b17-e3ae-465c-af60-be372999f596/content>

- Chacón, G., Varón, F., & Bastos, L. (2017). La crisis de 2008 y las decisiones en política económica colombiana. *Revista Ciencias Económicas*, 141–156.
<https://repositorio.ufps.edu.co/bitstream/handle/ufps/364/La%20crisis%20de%202008%20y%20las%20decisiones%20en%20pol%3%adtica%20econ%3%b3mica%20colombiana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chavarro, J. (2013). Impacto de la crisis financiera internacional del 2008 en el sector real colombiano. *Pontificia Universidad Javeriana*.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/10826/ChavarroMoralesJuanCamilo2013.pdf?sequence=3>
- Cifuentes, J., Chacón, J., & Fonseca, L. (2020). Análisis de los resultados de las Pruebas Saber Pro en estudiantes de la licenciatura en Educación Básica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. *Plumilla Educativa*, 25(1), 125–151.
<https://doi.org/10.30554/pe.1.3833.2020.No>
- Conesa, J., & Kehoe, T. (2022). Las Crisis de Liquidez en los Mercados de Deuda Soberana. *University of Minnesota*.
<https://users.econ.umn.edu/~tkehoe/classes/CrisisDeLiquidez.pdf>
- DANE. (2021). La información del DANE en la toma de decisiones de las ciudades capitales. *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*.
<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/210209-InfoDane-Tunja-Boyaca.pdf>

- David, A., Lambert, F., & Toscani, F. (2021). The Global Informal Workforce. Chapt 5. Informality and Labor Market Dynamics in Latin America. *International Monetary Fund*, 145–166. <https://www.imf.org/en/Publications/Books/Issues/2021/09/22/The-Global-Informal-Workforce-49719>
- De Sá Farias, F., Bornacki, L., & Campos, A. (2022). Commodity prices and capital movement phenomena in emerging economies. *CEPAL Review*, 137, 23–40. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/caa5ef93-df77-466d-b62c-c1f37fc46193/content>
- Departamento Nacional de Planeación. (2000). La crisis financiera y la experiencia internacional. *DNP*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Estudios%20Economicos/La%20crisis%20financiera%20y%20la%20experiencia%20internacional.pdf>
- Dornbusch, R., Fischer, S., & Startz, R. (2011). Macroeconomics. *Mc Graw Hill*. https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/SENMK/dornbusch_macro_economics.pdf
- Drautzburg, T. (2019). Why Are Recessions So Hard to Predict? Random Shocks and Business Cycles. *Federal Reserve Bank of Philadelphia*, 1–8. <https://www.philadelphiafed.org/-/media/FRBP/Assets/Economy/Articles/economic-insights/2019/q1/eiq119-predicting-recessions.pdf>
- Dueñas, M., Nutarelli, F., Ortiz, V., Riccaboni, M., & Serti, F. (2021). Assessing the Heterogeneous Impact of Economy-Wide Shocks: A Machine Learning Approach Applied to Colombian Firms. *ArXiv - Économie*. <http://arxiv.org/abs/2104.04570>

- Erazo, J., & Rosero, J. (2016). Efectos de la fluctuación del precio del petróleo sobre el balance del gobierno nacional central y la inflación en Colombia en el periodo 2008-2015. *Universidad de Nariño*. <https://sired.udenar.edu.co/7777/1/92136.pdf>
- Fedorov, E., Kibalnyk, L., Leshchenko, M., Nechyporenko, O., & Danylchuk, H. (2022). The Analysis of Countries' Investment Attractiveness Indicators Using Neural Networks Trained on the Adam and WCO Methods. *Springer*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-9225-4_49?utm_source=chatgpt.com
- Fondo Monetario Internacional. (2014). *De la estabilización a un crecimiento sostenido : Informe Anual 2014*. https://www.imf.org/~media/Websites/IMF/imported-flagship-issues/external/spanish/pubs/ft/ar/2014/pdf/ar14_esl.ashx
- Giraldo, C., Giraldo, I., Gomez, J. E., & Uribe, J. M. (2022). Banks' Leverage in Foreign Exchange Derivatives in Times of Crises: A Tale of Two Countries. *Fondo Latinoamericano de Reservas*, 1–17. <https://flar.com/wp-content/uploads/2019/05/Banks-Leverage.pdf>
- Gómez, J., Uribe, D., & Vargas, H. (2002). The Implementation of Inflation Targeting in Colombia. *Banco de La República*. <https://repositorio.banrep.gov.co/server/api/core/bitstreams/88d5273d-b350-4fa1-972d-d5addf273fdd/content>

- González, C., & García, B. (2002). La evolución del Sistema Financiero Colombiano entre 1923 y 1950. *Sector Financiero de Cara al Siglo XXI, Tomo I, Asociación Nacional de Instituciones Financieras ANIF, Bogotá.*
- Goodfellow, I. (2016). NIPS 2016 Tutorial: Generative Adversarial Networks. *Cornell University*. <https://arxiv.org/pdf/1701.00160>
- Gunay, S., & Can, G. (2022). The source of financial contagion and spillovers: An evaluation of the covid-19 pandemic and the global financial crisis. *PLoS ONE*, 17(1 January). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261835>
- Hermitaño, J. (2022). Aplicación de Machine Learning en la Gestión de Riesgo de Crédito Financiero: Una revisión sistemática. *Interfases*, 12, 160–178. <https://doi.org/10.26439/interfases2022.n015.5898>
- Hermosilla, J., & Hermosilla, J. (2023). Finanzas comportamentales: una perspectiva interdisciplinaria dinámica. *Revista Universitaria Ruta*, 25(1), 1–23. <https://repositorios.fca.unam.mx/alafec/docs/asambleas/xv/ponencias/6.02.pdf>
- Herrera, D. (2020). Predicción para el mercado de acciones con Redes Neuronales LSTM. *Universidad Jorge Tadeo Lozano*. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/13673/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hofstetter, M., Mejía, D., Rosas, J. N., & Urrutia, M. (2017). Ponzi Schemes and the Financial Sector: DMG and DRFE in Colombia. *Universidad de Los Andes, Facultad*

de Economía, 35.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/f4b3733d-f394-4970-aea6-28cf1d0f4675/content>

Lozano, M. R., & Garzón, N. R. (2019). Crisis financieras: esta vez no es distinto. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(1), 129–147.

<https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.1.8>

Maarouf, M. (2015). Aplicación de Redes Neuronales para la Resolución de Problemas Complejos en Confiabilidad y Riesgo. *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*.

https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/18929/4/0728036_00000_0000.pdf

Mankiw, G. (2012). Principios de economía. *Cengage Learnign*.

https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/1613/Economia_Principios_de_6taedicion_Gregory_M.pdf

Martínez, M. (2022). Finanzas comportamentales: un enfoque alternativo que complementa nuestro proceso de toma de decisiones. *Papeles de Administración Hoy*, 7, 36–47.

https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/12704/PUB_Papeles%20de%20Adm%20HOY%2010_articulo%203.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Melo, L. A., Parrado, L. M., Ramos, J. E., & Zarate, H. M. (2020). Effects of booms and oil crisis on colombian economy: A time-varying vector autoregressive approach. *Revista de Economía Del Rosario*, 23(1), 6–37.

<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/economia/a.8631>

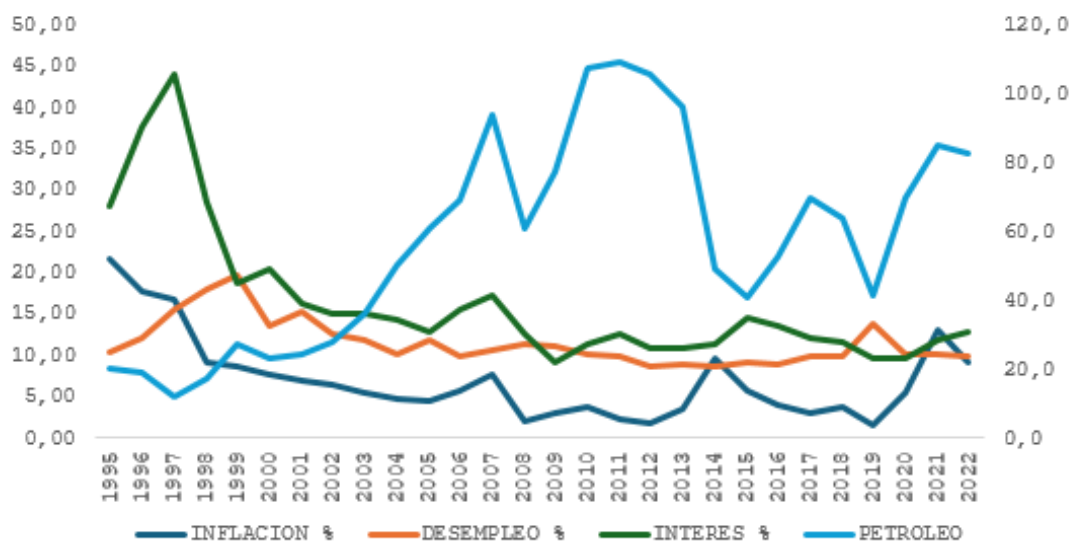
- Mendoza, K., Tarazona, V., & Hernández, S. (2016). La Crisis Energética en Colombia entre los años 2015-2016: Problema Económico Gubernamental o Medio Ambiental. *Revista Convicciones*, 3(6), 81–86.
<https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/convicciones/article/view/156>
- Mesa, J., Restrepo, D., & Aguirre, Y. (2008). Crisis externa y desaceleración de la economía colombiana en: coyuntura y perspectivas *. *Perfil de Coyuntura Económica*, 12, 31–67. <http://www.scielo.org.co/pdf/pece/n12/n12a2.pdf>
- Mienye, I. D., Swart, T. G., & Obaido, G. (2024). Recurrent Neural Networks: A Comprehensive Review of Architectures, Variants, and Applications. *Information*, 15(9), 517. <https://doi.org/10.3390/info15090517>
- Ocampo, J. A. (2023). Capítulo 1. Una historia de las crisis económicas de Colombia. *Una Historia de Las Crisis Económicas de Colombia. Banco de La República*.
<https://repositorio.banrep.gov.co/server/api/core/bitstreams/ba32ef81-abeb-4d7a-b655-5bb86c42c160/content>
- Ortiz, A. (2024). Evaluación y aplicación de diferentes estructuras de redes neuronales para grafos implementación de ensamblajes de modelos GNN. *Escuela Politécnica Nacional*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26018/1/CD%2014798.pdf>
- Ozbayoglu, A. M., Ugur, M., & Berat, O. (2020). Deep Learning for Financial Applications : A Survey. *Applied Soft Computing*, 93.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494620303240>

- Parada, A., & Ríos, H. (2018). Globalización y desigualdad: un enfoque multidimensional a través de redes neuronales artificiales. *Análisis Económico*, XXXIII(82).
<https://www.scielo.org.mx/pdf/ane/v33n82/2448-6655-ane-33-82-31.pdf>
- Pismag, C., Bolaños, J., & Meneses, L. (2022). Diseño de un modelo de alerta temprana para inferir la ocurrencia de crisis financieras con aplicación a mercados emergentes. El caso del mercado bursátil Colombiano. *Revista Estrategia Organizacional*, 11.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/revista-estrategica-organizacio/article/view/5656>
- Pricewater house Coopers. (2015). Global financial markets liquidity study. *PWC*.
<https://www.pwc.com/gx/en/financial-services/publications/assets/global-financial-market-liquidity-study.pdf>
- Qiu, L., Su, R., & Wang, Z. (2022). Financial crisis prediction based on multilayer supervised network analysis. *Frontiers in Physics*, 10, 1–19.
<https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1048934>
- Reinhart, C., & Rogoff, k. (2009). This Time Is Different: Eight centuries of financial folly. *Princeton: Princeton University Press*.
<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9781400831722/html>
- Rivero, F. (2022). Análisis del ciclo económico en México, 2011-2020: una perspectiva de la Escuela Austriaca de Economía. *Analysis of the Economic Cycle in Mexico*, XXXVII(95), 27–46. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n95/Rivero>

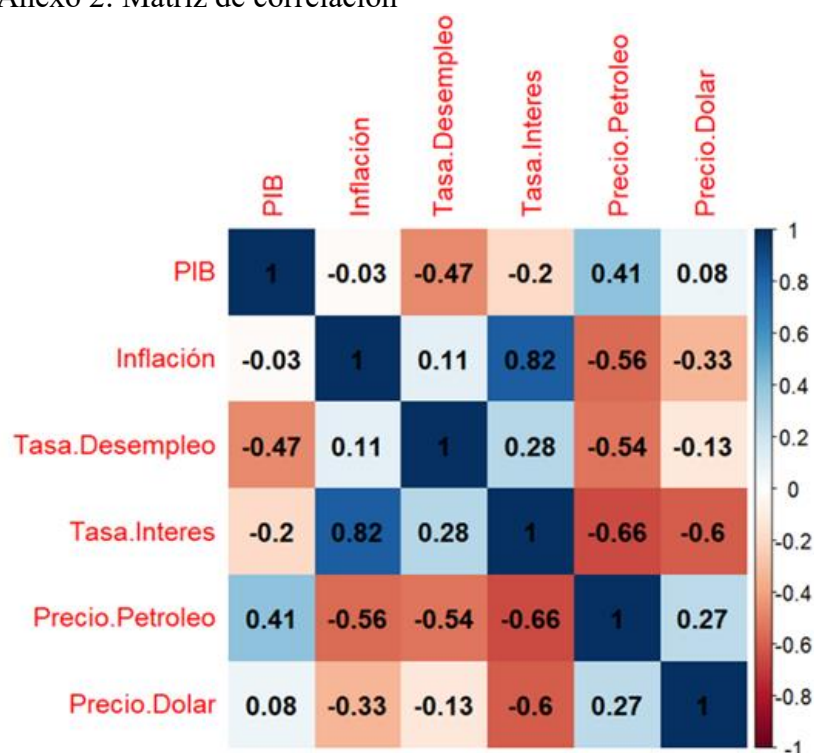
- Rodríguez, D., & Ulloa, I. M. (2020). Crisis financiera mundial y sus efectos sobre el canal del crédito bancario en la economía colombiana. *Lecturas de Economía*, 93, 261–296. <https://doi.org/10.17533/UDEA.LE.N93A340990>
- Sarmiento, J. L. (2020). Aplicaciones de las redes neuronales y el deep learning a la ingeniería biomédica. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 1–18. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020001>
- Statista. (2024). *Precio medio anual del petróleo crudo fijado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) de 1960 a 2024*. <https://es.statista.com/estadisticas/635114/precio-medio-del-crudo-fijado-por-la-opep/>
- Van Riet, A. (2019). Twenty Years of European Central Bank Monetary Policy: A Keynesian and Austrian Perspective. *Jahrbucher Fur Nationalokonomie Und Statistik*, 239(5–6), 797–840. <https://doi.org/10.1515/jbnst-2018-0078>
- Yan, K., Abu-Salih, B., Qaddoura, R., & Palade, V. (2023). Deep neural networks in the cloud: Review, applications, challenges and research directions. *Neurocomputing*, 545, 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126327>

Anexos

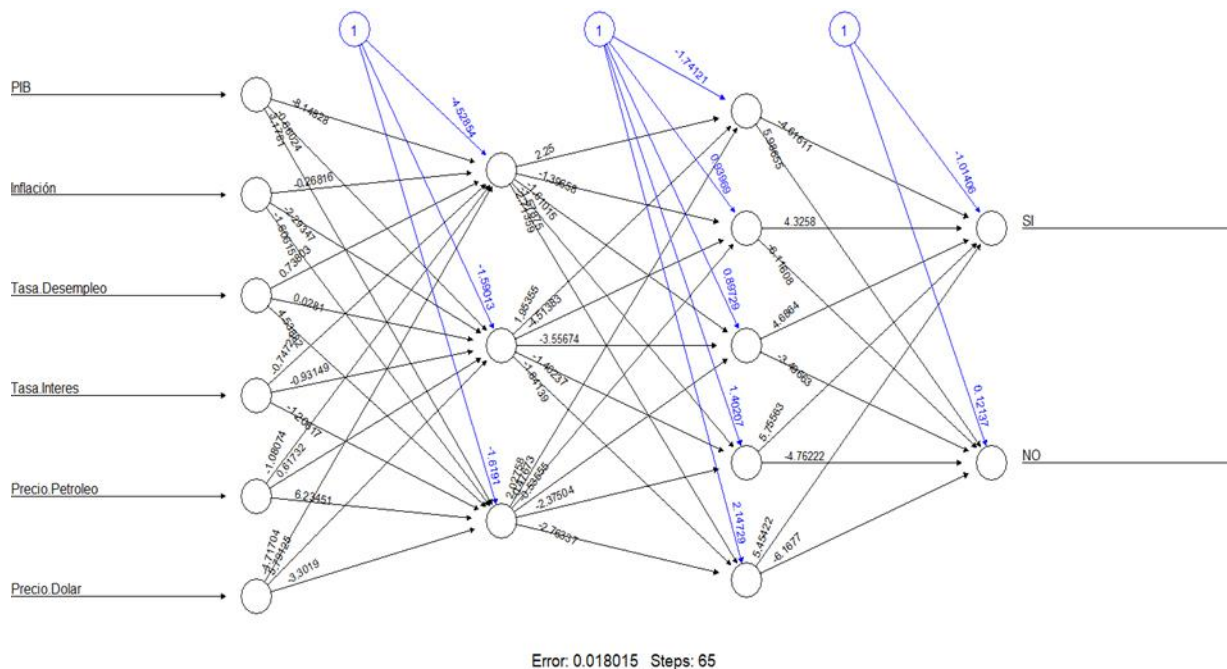
Anexo 1: Grafica de factores macroeconómicos. (Inflación, desempleo, interés, petróleo)



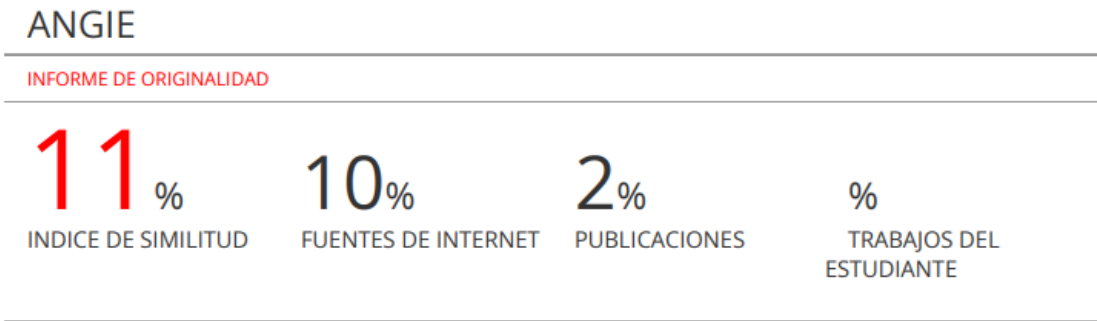
Anexo 2: Matriz de correlación



Anexo 3: Red Neuronal



Anexo 3: Revisión de TURNITIN



Anexo 4: CvLAC

GOVCO El Estado no tiene por qué ser aburrido ¡conoce a govcol! TRÁMITES Y SERVICIOS PARTICIPACIÓN ENTRADAS

Ciencias CURRÍCULUM VITAE DE LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Juan Camilo Nuñez

Trabajos dirigidos/Tutorías

A continuación puede visualizar la información registrada del trabajo/tutoría dirigida. Para volver al listado de los trabajos/tutorías dirigidas pulse el enlace ["Regresar"](#)

Tipo de producto Trabajos de grado de pregrado

Nombre del trabajo dirigido/tutoría(*)
Análisis del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023, por medio de una red neuronal.

Fecha de inicio		Fecha de fin	
Mes	Año	Mes	Año
Enero	2025	Abril	2025

Número de Páginas 73

Programa académico economía

Institución UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA

Tipo de orientación Tutor/director principal

Estado de la Tesis Tesis terminada

PERSONAS (ORIENTADO, TUTOR, COTUTOR, ASESOR) [\[Registrar personas \]](#)

- Angie Carolina Carrvajalino Amaya
- Sandra Milena Parra Herrera
- Juan Camilo Nuñez Quiñones
- JUAN ANDRÉS GUERRERO DURAN

PALABRAS CLAVE [\[Registrar palabra\(s\) clave \]](#)

ÁREAS DE CONOCIMIENTO [\[Registrar gran área, área y disciplina \]](#)

RECONOCIMIENTOS [\[Registrar reconocimiento\(s\) \]](#)

Datos generales

- Participación en grupos de investigación
- Actividades de formación
- Actividades como evaluador
- Procesos de Aprobación Social del Conocimiento (PASC)
- Divulgación pública de la ciencia (DP)
- Productos de Investigación + Creación
- Producción bibliográfica
- Producción técnica y tecnológica
- Demás trabajos
- Proyectos
- Reconocimientos
- Imprimir currículo
- Verificador de tipología
- Verificador de información
- Resultado análisis de convocatoria
- Solicitud de aclaración
- Manual de usuario

Coautores

Palabras clave

Áreas de conocimiento

Reconocimientos

sandra milena Parra

Proyecto

Tipo de proyecto

Investigación y desarrollo

Título del proyecto

Análisis del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023, por medio de una red neuronal

Fecha de inicio Fecha de fin Código del proyecto SIGP/Código entidad financiadora

Noviembre 2024 Abril 2025 PGM037

El proyecto es: Financiado Fuente de financiación Interna

Resumen

Este trabajo analiza el patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023 mediante el uso de una red neuronal artificial (RNA). A partir de la recopilación de datos macroeconómicos oficiales, se examinan variables clave como el Producto Interno Bruto (PIB), la inflación, el desempleo, la tasa de interés, el precio del dólar y el petróleo, con el fin de identificar comportamientos recurrentes que caracterizan los periodos de crisis. El enfoque metodológico se basa en el entrenamiento supervisado de una RNA de tipo perceptrón multicapa, alimentada con una matriz de datos económicos anuales. El modelo fue capaz de clasificar con alta precisión (92.6%) los años con presencia o ausencia de crisis financiera, identificando como momentos críticos los años 1999, 2008, 2015, 2016 y 2020. Se observó que en los años de crisis el PIB tiende a caer, el desempleo aumenta, la tasa de interés disminuye como estímulo monetario y el dólar se devalúa. Estas relaciones no lineales fueron detectadas y aprendidas por la red, superando las limitaciones de métodos econométricos tradicionales. A través del análisis temporal y el comportamiento promedio de las variables durante los años críticos, se logró caracterizar un patrón estructural repetitivo previo a las crisis. Este patrón incluye desaceleración del PIB, incremento del desempleo y volatilidad externa reflejada en el dólar y el petróleo. Además, se destaca la utilidad de la RNA como herramienta para la construcción de un sistema de alerta temprana, capaz de anticipar posibles riesgos macroeconómicos. Finalmente, se concluye que las redes neuronales ofrecen una alternativa robusta para la detección de crisis financieras en economías emergentes como la colombiana, permitiendo reconocer señales de advertencia de forma automatizada y eficiente. Se recomienda avanzar hacia el diseño de herramientas predictivas institucionales basadas en inteligencia artificial, integradas con mecanismos de política económica preventiva.

Para actualizar la información de un proyecto tenga en cuenta:

1. Usted debe ser el investigador principal
2. Es necesario incluir la información de financiación, si aplica. Para esto si en la información del proyecto dice que es un proyecto solidario, por favor desvincule la institución que tenga registrada, de este modo el sistema le permitirá ingresar toda la información que Minciencias solicita para los proyectos.
3. Si la financiación es interna sólo debe ingresar una institución participante.

A continuación puede registrar los demás integrantes del proyecto

Integrantes del proyecto [\[Vincular integrante\]](#)

Integrante	Tipo de participación	
sandra milena Parra Herrera	Investigador principal	Editar
Angie Carolina Carvajalino Amaya	Estudiante de pregrado	Editar

Instituciones vinculadas al proyecto [\[Vincular institución\]](#)

Institución financiadora	Tipo de participación	
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA	Ejecutora	Editar Desvincular

Producción CTeI resultado del proyecto o programa [\[Vincular producción\]](#)

No ha vinculado producción CTeI resultado del proyecto.

Angie Carolina Carvajalino

Proyecto

Tipo de proyecto

Investigación y desarrollo

Título del proyecto

Análisis del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023, por medio de una red neuronal

Fecha de inicio Fecha de fin Código del proyecto SIGP/Código entidad financiadora

Noviembre 2024 Abril 2025 PGM037

El proyecto es: Financiado Fuente de financiación Interna

Resumen

La investigación analiza los patrones comportamentales de las crisis financieras en Colombia entre 1995 y 2023 utilizando una red neuronal artificial. Se estudian cuatro grandes crisis: la crisis hipotecaria de 1998-1999, la crisis financiera global de 2008, la crisis de liquidez de 2015-2016, y la crisis derivada del COVID-19 en 2020. El objetivo es identificar las variables macroeconómicas que anteceden a estos eventos, como el PIB, la tasa de interés, la inflación, el desempleo, el precio del dólar y el petróleo. A partir de una metodología cuantitativa, se diseñó una red neuronal multicapa que, tras el entrenamiento con datos históricos, detectó patrones no lineales complejos entre los factores económicos y la probabilidad de crisis. La red logró un bajo error de entrenamiento (0.018), indicando alta precisión predictiva, aunque con riesgo de sobreajuste. Se encontró, por ejemplo, una correlación negativa entre crecimiento económico y desempleo, y una alta relación positiva entre inflación y tasas de interés. Los resultados muestran que Colombia ha seguido un ciclo recurrente de vulnerabilidad externa, ajuste macroeconómico y recuperación parcial tras cada crisis. A pesar de avances regulatorios, persisten riesgos asociados a la desigualdad, la dependencia de commodities y la volatilidad global. Se recomienda fortalecer los sistemas de alerta temprana usando redes neuronales, actualizar continuamente los modelos con datos recientes y considerar factores de economía conductual para una mejor gestión de riesgos futuros.

Para actualizar la información de un proyecto tenga en cuenta:

1. Usted debe ser el investigador principal
2. Es necesario incluir la información de financiación, si aplica. Para esto si en la información del proyecto dice que es un proyecto solidario, por favor desvincule la institución que tenga registrada, de este modo el sistema le permitirá ingresar toda la información que Minciencias solicita para los proyectos.
3. Si la financiación es interna sólo debe ingresar una institución participante.

A continuación puede registrar los demás integrantes del proyecto

Integrantes del proyecto [\[Vincular integrante\]](#)

Integrante	Tipo de participación	
Angie Carolina Carvajalino Amaya	Investigador principal	Editar

Instituciones vinculadas al proyecto [\[Vincular institución\]](#)

Institución financiadora	Tipo de participación	
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR-SECCIONAL AGUACHICA	Ejecutora	Editar Desvincular

Producción CTeI resultado del proyecto o programa [\[Vincular producción\]](#)

No ha vinculado producción CTeI resultado del proyecto.

ENTREGA DE TRABAJO DE GRADO Y AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

Yo Angie Carolina Carvajalino Amaya identificado (a) con Cédula de Ciudadanía No. C 1005333872 expedida en Aguachica y Sandra Milena Parra Herrera, identificado (a) con Cédula de Ciudadanía No.1062.876.618 expedida en Gamarra Cesar; actuando en nombre propio, en calidad de autores del trabajo de grado en modalidad MONOGRAFIA titulada(o): Análisis del patrón comportamental de las crisis financieras en Colombia entre 1995-2023, por medio de una red neuronal **hago** entrega formal del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso en formato físico y digital o electrónico (CD) y autorizo a la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública y distribución (alquiler, préstamo público) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARAGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no solo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también como formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso de red, internet, extranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR-ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad de la misma. PARAGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR/ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (2) ejemplares del mismo valor y tenor, en Aguachica, a los 23 días del mes de abril de Dos mil Veinticinco (2025).

Firma,

Angie Carvajalino

Nombre: Angie Carolina Carvajalino Amaya

CC: 1.005.333.872

acarvajalino@unicesar.edu.co

Firma,

Sandra Milena Parra Herrera

Nombre: Sandra Milena Parra Herrera

CC: 1.062.876.618

sandramparra@unicesar.edu.co